

ECCS
CECM
EKS



Funded by
the European Union

SUOSITUKSET TERÄSTUOTTEIDEN UUELLEENKÄYTTÖÖN

— Osa 1: Olemassa olevien terästuotteiden ja rakennusten
uudelleenkäyttö —

Tekninen komitea 14
Teräsrakentamisen kestävyys ja ekotehokkuus,
ADVANCE – hankkeen puitteissa

ADV1-FI | 2025



ECCS TC14

Teräsrakentamisen kestävyys ja ekotehokkuus

Suosituksset terästuotteiden uudelleenkäyttöön

Osa 1: Olemassa olevien terästuotteiden ja rakennusten uudelleenkäyttö

2. painos, 2025



Suositukset terästuotteiden uudelleenkäyttöön

Osa 1: Olemassa olevien terästuotteiden ja rakennusten uudelleenkäyttö

Nro 146, ADV1-FI, 2. painos, 2025

Julkaisija:

ECCS – European Convention for
Constructional Steelwork
publications@steelconstruct.com
www.eccspublications.eu

Kaikki oikeudet pidätetään. Mitään tämän julkaisun osia ei saa jäljentää, tallentaa hakujärjestelmään tai lähettää missään muodossa tai millään tavalla, sähköisesti, mekaanisesti, valokopioimalla, tallentamalla tai muuten, ilman tekijänoikeuden omistajan etukäteen antamaa lupaa

ECCS ei ota vastuuta minkään sisältämän aineiston ja tietojen soveltaminen tässä julkaisussa.

**Copyright © 2025 ECCS – European Convention for
Constructional Steelwork**

ISBN: 978-92-9147-208-6

Painettu

Valokuvat

Vapaakappale

Vaikka tämän julkaisun ja siinä olevien tietojen eheyden ja laadun varmistamiseksi on pyritty kaikkiin tavoin varmistamaan, projektikumppanit ja kustantaja eivät ota vastuuta mistään omaisuus- tai henkilövahingoista, jotka johtuvat tämän julkaisun ja sen sisältämien tietojen käytöstä.

Tekstin jäljentäminen ei-kaupalliseen tarkoitukseen on sallittua, kunhan lähde mainitaan ja hankekoordinaattorille ilmoitetaan. Tämän julkaisun julkistaminen muiden kuin alla mainittujen verkkosivustojen kautta edellyttää hankekumppaneiden etukäteen antamaa lupaa.



Euroopan unioni rahoitti tätä työtä apurahalla nro 101112269. Esitetyt näkemykset ja mielipiteet ovat kuitenkin vain kirjoittajan tai laatijoiden näkemyksiä, eivätkä ne välttämättä vastaa Euroopan unionin tai RFCS:n näkemyksiä ja mielipiteitä. Euroopan unionia tai tuen myöntävää viranomaista ei voida pitää vastuussa niistä.



**Funded by
the European Union**



<https://www.steelconstruct.com/eu-projects/advance/>

ESIPUHE

Kierrätettyjen rakenneteräsosien käyttäminen hankkeessa on tehokasta rakennuksen ympäristövaikutusten vähentämiseksi, sillä se poistaa energiatarpeen, jota tarvitaan teräsosien kierrättämiseen uusiksi tuotteiksi sulattamalla materiaali. PROGRESS-tutkimushankkeessa (Provisions for a greater reuse of steel structures) keskityttiin yksikerroksisiin teräsrakennuksiin, ja siinä määritettiin erilaisia uudelleenkäyttöskenaarioita. Se osoitti myös, miten hyvin harkitut suunnittelutoimenpiteet voivat helpottaa rakenteen tai sen komponenttien uudelleenkäyttöä. Työn soveltamisala laajennettiin ADVANCE-tutkimushankkeessa (Accompanying measure for dissemination, valorisation and collaborative exploitation of circularity of constructional steel products) yksikerroksisista rakennuksista monikerroksisiin rakennuksiin, ja lisäsisältö on sisällytetty tähän terästuotteiden uudelleenkäyttöä koskevien suositusten toiseen painokseen.

Näissä suosituksissa käsitellään keskeisiä näkökohtia, joita suunnittelijoiden on otettava huomioon teräsrakenteiden uudelleenkäytön lisäämiseksi, ja esitellään esimerkkejä onnistuneesta rakenteellisesta uudelleenkäytöstä. Suosituksissa esitetään toiminnallisen uudelleenkäytettävyyden vaatimukset, mutta niissä ei käsitellä yksityiskohtaisesti uudelleenkäytön taloudellista toteutettavuutta tai ympäristöhyötyjä. Rakenneteräksen uudelleenkäyttö rajoittuu tässä yhteydessä seuraaviin:

- Uudelleenkäytettäviä osia ei saa altistaa vaurioille, mukaan lukien plastisille muodonmuutoksille ja pienennetyille poikkileikkauksille (esim. reikien, aukkojen, halkeamien tai liiallisen korroosion kautta),
- Kaikkien uudelleenkäytettävien osien tulee olla peräisin rakennuksesta, joka on rakennettu teräsosista, jotka on valmistettu vuonna 1970 tai sen jälkeen, jolloin murtorajatila -suunnittelusta tuli yleinen käytäntö,
- Kaikki primääriosat ovat valssattuja teräsosia. Hitsatut osat eivät kuulu tämän asiakirjan soveltamisalaan,
- Jotta osia voidaan käyttää uudelleen, ne on otettava talteen mahdollisimman suuressa osassa alkuperäistä muotoaan, vaikka joitain lisä- ja valmistelutöitä saatetaan vaatia.

Suosituksset on jaettu kolmeen osaan:

Osa 1: Olemassa olevien terästuotteiden ja rakennusten uudelleenkäyttö,

Osa 2: Suunnittelusuositukset helpottamaan purkutöitä ja uudelleenkäyttöä,

Osa 3: Ympäristönäkökohdat ja käytännön toteutus.

Osassa 1 käsitellään yleisiä teknisiä kysymyksiä, jotka liittyvät olemassa olevien teräs- ja liittorakenteiden uudelleenkäytettävän teräksen rakenteelliseen käyttöön. Siinä esitetään lyhyt kuvaus yksi- ja monikerroksisten rakennusten anatomiasta, erilaisten uudelleenkäyttöskenaarioiden luokittelusta, eurooppalaisten käytännesääntöjen ja tuotestandardien historiallinen katsaus, materiaalien valinta ja hyväksyminen sekä niiden luokittelu "uusiin" malleihin eurokoodien mukaisesti. Siinä käsitellään myös rakenteellisen suunnittelun näkökohtia raja-arvojen periaatteiden kannalta. Regeneroidun teräksen kunnan arviointia, näytteenottoa ja testausta koskeva protokolla on lisäyksessä A. Uudelleenkäytettyjen teräsosien nurjahduskestävyyden modifioidun osittaiskertoimen johtaminen esitetään lisäyksessä B.

Osa 2 kattaa uusien rakennusten suunnittelun, jonka tavoitteena on toiminnallisuus, valmistuksen helppous, irrottavuus ja tuleva uudelleenkäyttö sekä estetiikka. Teräsrakenteiden purkamisen ja uudelleenkäytön suunnittelun yleiset periaatteet. Siinä määritellään suunnittelulaskelmissa käytettävät kuormat ja toimintojen yhdistelmät ja ehdotetaan yleisiä parannuksia rakentamisen yksityiskohtiin, jotka helpottavat tulevaa uudelleenkäyttöä.

Osassa 3 esitellään arvio kierrätettyjen teräsosien uudelleenkäytön ympäristöhyödyistä ja tarjotaan tietoa kierrätetystä teräksestä valmistettujen rakenteiden valmistuksen ja pystyttämisen käytännön näkökohdista. Tämän teoksen viimeisessä osassa esitellään useita tapaustutkimuksia, joissa havainnollistetaan kierrätettyjen teräsrakenteiden käyttöä eri EU-maissa ja joitakin ratkaistuja teknisiä ongelmia.

Asiakirjan laatimiseen osallistuneet PROGRESS- ja ADVANCE-hankekonsortioiden jäsenet ovat:

Petr Hradil	Suomi	Véronique Dehan	Belgia
Ludovic Fülöp	Suomi	Francis Grogna	Belgia
Sirje Vares	Suomi	Carlos del Castillo	Belgia
Margareta Wahlström	Suomi	Helena Gervasio	Portugali
Tiina Vainio-Kaila	Suomi	Luis da Silva	Portugali
Michael Sansom	Yhdistynyt kuningaskunta	Ari Ilomäki	Suomi
Ana M. Girão Coelho	Yhdistynyt kuningaskunta	Teemu Tiainen	Suomi
Ricardo Pimentel	Yhdistynyt kuningaskunta	Timo Koivisto	Suomi
Mark Lawson	Yhdistynyt kuningaskunta	Jyrki Kesti	Suomi
Viorel Ungureanu	Romania	Břetislav Židlický	Tšekki
Raluca Buzatu	Romania	František Wald	Tšekki
Ioan Both	Romania	André Beyer	Ranska
Dan Dubina	Romania	Amor Ben Larbi	Ranska
Markus Kuhnhenne	Saksa	Peetu Hirvonen	Suomi
Dominik Pyschny	Saksa	Maria Carrubba	Saksa
Kevin Janczyk	Saksa	Jie Yang	Luxemburg
Paul Kamrath	Saksa	José Humberto Matias de Paula Filho	Luxemburg

SISÄLLYSLUETTELO

1	Johdanto	12
1.1	Tämän julkaisun laajuus	13
1.2	Suunnittelu-, asennus- ja tuotestandardit	14
1.3	Termit ja määritelmät	16
2	Yksi- ja monikerroksisten rakennusten komponentit	20
2.1	Yksikerroksiset teräsrakennukset (SSB)	20
2.1.1	Primääri teräsrakenne: Rakenteelliset rungot ja jäykistysjärjestelmät	21
2.1.2	Kattorakenteet	22
2.1.3	Jäykistysjärjestelmät	22
2.1.4	Sekundääriset teräsrakenteet	23
2.1.5	Vaippa	23
2.1.6	Yksikerroksisten teräsrunkoisten rakennusten suunnitteluoppaat. Lisäasiakirjat	24
2.2	Monikerroksiset teräsrakennukset (MSB)	25
2.2.1	Rakennuksen primäärirunko	26
2.2.2	Jäykisteet monikerroksisiin rakennuksiin	27
2.2.3	Kerrokset monikerroksisissa rakennuksissa	28
2.2.4	Julkisivujärjestelmät	29
2.2.5	Suunnitteluoppaat monikerroksisille teräsrunkoisille rakennuksille. Lisäasiakirjat	30
3	Teräksen uudelleenkäytön luokitus	32
3.1	Rakenneteräskomponenttien elinkaaren vaiheet	32
3.2	Uudelleenkäyttöskenaariot	33
4	MENETTELYOHJEIDEN ja tuotestandardien historiallinen katsaus	35
4.1	Kuumavalssatut rakenneteräkset	35
4.1.1	Tuotestandardit	35
4.1.2	Suunnittelua koskevat menettelyohjeet ja standardit	37
4.2	Kylmämuovatut rakenneteräkset	37
5	Uudelleenkäytettävyyden arviointi	38
5.1	Uudelleenkäytettävyyteen vaikuttavat parametrit	38
5.2	Yleisnäkemys	39
5.3	Suunnitteluprosessi	41
5.4	Rakenneteräs uudelleenkäyttöön	42
5.4.1	Kierrätettyjen teräsrakenteiden luokittelu	43
5.4.2	Materiaalien suorituskykyä koskevat vaatimukset	44
5.4.3	Laadunvarmistusta koskevat vaatimukset	45

5.4.4	Kuumavalssatun teräksen ilmoitettavat uudelleenkäytettävän teräksen ominaisuudet	45
5.4.5	Materiaaliominaisuuksien arviointi	48
5.4.6	Uusioteräsrakenteiden toteutuksen ja sertifiointin arviointi	51
5.5	Rakennusosat	51
5.5.1	Asiaankuuluvat ominaisuudet	51
5.5.2	Luotettavuus	55
5.6	Rakenneosat tai koko pää rakenne	57
5.6.1	Toteutusluokat	59
5.7	Kylmämuovatut rakenneosat	63
5.7.1	Kylmämuovattujen uudelleenkäyttöön tarkoitettujen teräsrakenteiden luokittelu	64
5.7.2	Valinta- ja hyväksymisperusteet	64
5.7.3	Materiaalien suorituskykyä koskevat vaatimukset	65
5.7.4	Soveltuvuuden ja luotettavuuden arviointi	66
5.7.5	Kylmämuovattujen uudelleenkäytettävien tuoteominaisuuksien ilmoittaminen	66
5.7.6	Kestävyys	68
5.8	Liittovälipohja teräksisellä liittolevyllä	68
5.9	Julkisivut	68
5.9.1	Valinta- ja hyväksymisperusteet	69
5.9.2	Vetolujuus ja tiheys	69
5.9.3	Leikkauslujuus	70
5.9.4	Puristuslujuus	70
5.9.5	Taivutusmomentti/lommahduslujuus	70
5.9.6	Materiaalien turvallisuustekijät	70
5.9.7	Kestävyys/ikäntymisominaisuudet	70
5.9.8	Toleranssit	70
5.9.9	Lämpökäyttäytyminen	71
5.9.10	Paloturvallisuus	71
5.9.11	Uudelleenkäytön sertifiointi	71
6	Olemassa olevien teräsrakenteiden rakenneanalyysi ja suunnittelu	73
6.1	Luotettavuuden saavuttaminen	73
6.1.1	Osavarmuusluvut kuormille	75
6.1.2	Toteuttamiskelpoiset skenaariot lyhyemmän käyttöiän käyttöön ottamiseksi	76
6.1.3	Poikkileikkauskestävyyden osavarmuusluku	77
6.2	Rakenteellinen (staattinen) analyysi	78
6.3	Murtorajatila	79
6.3.1	Osien suunnittelu: poikkileikkauskestävyys	79
6.3.2	Osien suunnittelu: stabiiliteetti	79

6.3.3	Liitosten suunnittelu	79
6.3.4	Päärakenteen suunnittelu	80
6.3.5	sekundääristen rakenneosien suunnittelu	81
6.4	Seismiset suunnittelunäkökohdat	81
6.5	Käyttörajatilat	82
6.5.1	Taipumat ja siirtymät	82
	Viittaukset	84
	Lisäys A	93
A.1	Yleiset	93
A.2	Kunnon arviointi ja mittaukset	93
A.3	Testattavien osakokonaisuuksien määritelmä – testiyksikkö	96
A.4	Mekaanisten ja kemiallisten ominaisuuksien testaustekniikat	97
A.5	Testausprotokollat	98
A.6	Kattava lujuuden ja venymän testaus	99
A.7	Iskun sitkeys	103
A.8	Kemiallinen koostumus	104
A.9	Geometriset toleranssit	104
A.10	Kylmämuovattuja terästuotteita koskevat lisäohjeet	105
A.11	Uudelleenkäytettävän teräksen arviointi Taulukkokirjan D mukaisesti	105
	Liite B	107
B.1	Osavarmuuskertoinen tausta standardin EN 1990 mukaan	107
B.2	Selvennys $\gamma_{M1,mod}$, uudelleenkäytettävän teräksen suunnitteluun	107

MERKINTÄTAPA

Pienet kirjaimet

f_u	Vetolujuus
f_y	Myötöraja
$f_y(t)$	Myötöraja levyn paksuuden perusteella
k_n	Arvo on otettu standardin EN 1990 taulukosta D1
m	Ryhmän keskiarvo
n	Eksponentti
w	Taipuma

Suuraakkoset

E	Kimmomoduuli
F	Toiminta
G	Leikkausmoduuli, pysyvä toiminta
$G_{k,j,sup}$	Pysyvän kuorman ylempi ominaisarvo j
$G_{k,j,inf}$	Pysyvän kuorman alempi ominaisarvo (alempi) arvo j ;
H_v	Vickersin kovuusarvo
K_{YM1}	Korjauskerroin
P_f	Vaurion todennäköisyys
Q	Muuttuva kuorma
$Q_{k,1}$	Määräävä muuttuva kuorma
$Q_{k,j}$	Muuttuva kuorma i
R_{eH}	Myötöraja testauksesta tai asiaankuuluvasta tuotestandardista
R_m	Murtolujuus testauksesta tai asiaankuuluvasta tuotestandardista
$R_{p0,2}$	0,2 % offset-myötöraja
S_x	Keskihajonta
V_x	Variaatiokerroin
X	Materiaalin tai tuotteen ominaisuus;
\bar{X}	Materiaalin tai tuotteen ominaisuuden keskiarvo
X_d	Suureen X suunnitteluarvo
X_k	Suureen X ominaisarvo

Kreikkalaiset kirjaimet ja symbolit

α	Lineaarisen lämpölaajenemisen kerroin
α_P	Materiaaliominaisuuden tärkeystekijä
β	Luotettavuusindeksi
γ_T	Kuorman osavarmuuskerroin (yleinen)
γ_μ	Materiaaliominaisuuden osavarmuuskerroin
γ_M	Kestävyyden osavarmuuskerroin (yleinen)
γ_{M0}	Poikkileikkauskestävyyden osavarmuuskerroin
γ_{M1}	Sauvan kestävyyden osavarmuuskerroin
$\gamma_{M1,\mu\phi\delta}$	Modifioitu osavarmuuskerroin sauvan kestävyydelle
γ_{M2}	Osavarmuuskerroin poikkileikkausten kestävyydelle murtumisen suhteen
$\gamma_{P\delta}$	Osavarmuuskerroin kestävyysmallissa
ϵ_ϕ	Venymä murtuman jälkeen
ν	Poissonin kerroin
ρ	Ilman tiheys
ξ	Epäsuotuisia pysyviä toimia koskeva vähennyskerroin
ψ	Yhdistelykerroin
ψ_0	Muuttuvan kuorman yhdistelykerroin
$\psi_{0,i}$	Muuttuvan kuorman i yhdistelmäkerroin
Φ	Normaalijakauma

Alaindekseiksi

ad	Sovitettu
d	Suunnittelu-arvo
Inf	Alaraja
k	Ominaisarvo
mod	Muunnettu
Nom	Nimellinen
sup	Yläaraja

Lyhenteet

CEN	Euroopan standardointikomitea
CEV	Hiilieläivälenttiarvo
CFC	Freoni
CHS	Pyöreä rakenneputki
CoV	Variaatiokerroin
CPR	Rakennustuoteasetus
D0-A	In situ -uudelleenkäytön skenaario
Di-B	Uudelleenkäyttöskenaario: sama kokoonpano ja sama rakennuspaikka
Di-C	Uudelleenkäyttöskenaario: eri kokoonpano ja sama rakennuspaikka
Di-D	Uudelleenkäyttöskenaario: sama kokoonpano ja eri rakennuspaikka
Di-E	Uudelleenkäyttöskenaario: erilainen kokoonpano ja eri rakennuspaikka
DCL	Matalan sitkeysluokan järjestelmät seismiseen suunnitteluun standardin EN 1998-1 mukaisesti
Dop	Suoritustasoilmoitus
DT	Rikkova testaus/testi
FI	Eurooppalainen normi
ETA	Eurooppalainen tekninen arviointi
EU	Euroopan unioni
EXC	Toteutusluokka
FEM	Elementtimenetelmä
H-CFC	Osittain halogenoidut kloorifluorihilivedyt
hEN	Eurooppalainen yhdenmukaistettu standardi
LCA	Elinkaariarviointi
LCC	Elinkaarikustannusten arviointi
LSD	Rajatilasuunnittelumenetelmä
MSB	Monikerroksinen teräsrakennus
NA	Kansallinen liite
NAD	Kansallinen hakusoveltamisasiakirja
NDT	Rikkomaton testaus/testi
$P-\Delta$	Globaalit toisen kertaluvun vaikutukset
$P-\delta$	Paikalliset toisen kertaluvun vaikutukset
PU	Polyuretaani

RHS	Suorakaiteen muotoiset rakenneputket
SHS	Neliömäiset rakenneputket
SLS	Käyttörajatila
SSB	Yksikerroksinen teräsrakennus
STR	Kestävyystarkastelun voimien suunnitteluarvot
ULS	Murtorajatila
Z	Sinkkipinnoite upottamalla nauha sulaan sinkkikylpyyn
ZF	Sinkki-rautapinnoite upottamalla nauha sulaan sinkkikylpyyn ja jälkihehkus
ZA	Sinkki-alumiinipinnoitus upottamalla nauha sulaan sinkki-alumiinikylpyyn
ZM	Sinkki-magnesiumpinnoite upottamalla nauha sulaan sinkki-alumiini-magnesiumkylpyyn
AZ	Alumiini-sinkkipinnoitus upottamalla valmistettu sulaan alumiini-sinkki-piikylpyyn
AS	Alumiini-piipinnoitus upottamalla nauha sulaan alumiinipiikylpyyn

Akselit

x	Sauvan pituusakseli
y	Pääakseli (laippojen suuntainen)
z	Sivuakseli (yhdensuuntainen uuman kanssa)

1 JOHDANTO

Rakennusalan on kehitettävä kestävämpiä rakennuskäytäntöjä, jotka johtavat pienempään hiilijalanjälkeen ja edistävät kiertotaloutta. 9R-kiertotalousstrategioita (Refuse-Rethink-Reduce-Reuse-Repair-Refurbish-Remanufacture-Repurpose-Repurpose-Recycle-Recover) voidaan soveltaa rakennesuunnittelussa auttamaan kehittämään uusia suunnittelumenetelmiä ja järjestelmiä, jotka vähentävät ympäristövaikutuksia ja parantavat rakentamisen yleistä rakenteellista tehokkuutta. Teräsrakenteiden suunnittelussa, rakentamisessa ja huollossa 9R-kehys voidaan ymmärtää seuraavasti:

- *Kieltäydy* tuotannosta tarpeettomista teräsrakenteista. Jos on olemassa keino saavuttaa samat tavoitteet jo olemassa olevalla infrastruktuurilla, sitä tulisi suosia,
- *Mieti* teräsrakennukseksi käyttöiän päättymisvaihtoehtoja uudelleen. Purku ei ole ainoa ratkaisu, vaan
- *Vähentää* teräksen tuotantoon ja/tai kierrätykseen liittyviä CO₂-päästöjä ja energiantarvetta, *vähentää* jätettä ja *vähentää* materiaalien käyttöä kehittämällä tehokkaampia rakennejärjestelmiä.
- *Uudelleenkäytä* uudelleenkäytettäviä terästuotteita mahdollisuuksien mukaan uudelleen uuden teräksen käytön korvaamiseksi.
- *Korjaa* vaurioituneet osat. Suunnittele uusi teräsrakenne siten, että komponentteihin pääsee käsiksi, ne voidaan tarkastaa ja korjata.
- *Kunnosta* olemassa oleva rakenne, varmistaa sen eheys, vakaus ja huollettavuus sen suunnitellun käyttöiän pidentämiseksi,
- *Muokkaa* talteen otetut vanhentuneet komponentit uudelleen nykyisten valmistusmenetelmien mukaisiksi kierrätyksen sijaan,
- *Käytä* teräsrakennetta uudelleen, jos sitä ei enää tarvita. Se voi toimia hyvin vähemmän vaativassa ympäristössä tai muussa teollisessa sovelluksessa,
- *Kierrätä* teräskomponentteja, joita ei voida korjata, kunnostaa, valmistaa uudelleen tai käyttää uudelleen, jotta voidaan minimoida primääriresurssien ehtyminen ja minimoida ympäristövaikutukset,
- *Ota talteen* se, mitä on jäljellä, ja löydä siihen paras kiertotalousratkaisu. Teräs ei ole rakennuksen ainoa materiaali.

Tässä julkaisussa keskitytään teräsrakenteiden uudelleenkäyttöön, mutta myös niiden kunnostamisen, uudelleenvalmistuksen, korjaamisen ja uudelleenkäytön käsitteitä käsitellään, koska ne ovat usein päällekkäisiä. Hylkäämis- ja uudelleenarviointistrategioita ei käsitellä tässä julkaisussa, koska ne liittyvät arkkitehtonisten tilojen mukautuvaan uudelleenkäyttöön ja jakamiseen eivätkä teknisiin ratkaisuihin olemassa olevien teräsrakenteiden purkamiseen ja/tai fyysisiin muutoksiin.

Hiilidioksidipäästöjen vähentäminen ja materiaalien valmistus ja jätteiden vähentäminen ovat tärkeitä rakentamisen ajureita. Osana rakentamisen kiertotalouden filosofian Kibert [1] esitettiin joitakin perustoimenpiteitä, jotka ovat tarpeen suljetun kierron materiaalien käytön ja talteenoton saamiseksi sekä jätteen vähentämiseksi rakennuksen käyttöiän lopussa. Tämä tarkoittaa, että rakennus tulee suunnitella joustavaa käyttöä varten ja että sen materiaalien on oltava käyttöikänsä lopussa uudelleenkäytettäviä tai kierrätettäviä.

Teräsrakenteiden uudelleenkäytön yhteydessä uusille teräsprofiileille toimitetaan sertifikaatti, joka takaa niiden ominaisuudet. Uudelleenkäytetyt teräsprofiilit tarvitsevat

vastaavan takuun suorituskyvystään, ja muun tiedon puuttuessa näiden profiilien uudelleenkäyttö edellyttää materiaalitestausta.

On ratkaistava merkittäviä haasteita, jotka liittyvät erityisesti uudelleenkäytettävän teräksen riittävyden ja luotettavuuden arviointiin, jotta voidaan varmistaa, että

- Kierrätetyt teräsosat täyttävät mekaanisten, fysikaalisten, mitta- ja muiden asiaankuuluvien ominaisuuksien suorituskyvyvaatimukset, jotta varmistetaan niiden suunnittelun EN 1993 -standardin mukaisuus.
- Materiaalit täyttävät spesifikaatioiden laatuvaatimukset, jotta niiden käyttövarmuus voidaan varmistaa. Rakenneteräksen osalta asiaankuuluva rakennesuunnittelun standardi on EN 1993 eri osineen,
- Uudelleenkäytettävästä teräksestä valmistetuilla rakenteilla on oltava pitkäkestoinen kestävyys myöhemmässä käytössä.

Nämä ovat keskeisiä näkökohtia, jotka on ratkaistava, jotta voidaan osoittaa, että uudelleenkäytetty teräs voi olla taloudellisesti ja rakenteellisesti kannattava vaihtoehto uuden teräksen käytölle rakennuksissa. Uudelleenkäyttöä voidaan harkita kaikilla rakenteellisilla tasoilla eli rakenneosissa, kuten ristikkojärjestelmissä, rungossa tai sandwich-paneeleissa ja koko rakenteella tai sen osalla.

Tämän julkaisun päätarkoituksena on antaa suosituksia ja käytännön tietoa teräsrakenteiden uudelleenkäytön yksityiskohdista sekä rakennusten suunnittelusta tulevaa purkamista ja uudelleenkäyttöä varten.

Tämän oppaan muut tarkoitukset ovat seuraavat:

- Vahvistaa hyväksyttävyysskriteerit geometrian, kelpoisuuden ja materiaalin ominaisuuksien suhteen terästuotteiden mahdollisen uudelleenkäytön mahdollistamiseksi CEN / TS 1090-201 -standardin mukaisesti [2],
- Teräsrakenteiden uudelleenkäytön havaittujen esteiden korjaaminen [3], erityisesti uudelleenkäytetyn teräksen hankinta, rakenneteräksen uudelleenkäytön kustannusvaikutukset ja teräsosien uudelleensertifiointi uudelleenkäyttöä varten.

1.1 Tämän julkaisun laajuus

Näissä suosituksissa annetaan suunnitteluohjeita suunnittelun parantamiseksi ja annetaan tietoa tulevaisuuden uudelleenkäyttöä varten. Suositukset on esitetty teräksen uudelleenkäyttöä koskevin ohjeina eurokoodin suunnittelun yhteydessä. Eri maiden osalta asiaankuuluvat kansalliset liitteet voivat edellyttää maakohtaisten kansallisten liitteiden käyttöä, jotka voivat vaikuttaa myös teräsrakenteiden uudelleenkäyttöön.

Tämän ohjeen pääkohderyhmä on rakennesuunnittelijat ja arkkitehdit, jotka ovat kiinnostuneita uudelleenkäyttämään rakenneterästä ja suunnittelemaan uusia teräsrakennuksia, jotka voidaan purkaa ja käyttää uudelleen helpommin tulevaisuudessa. Rakenneteräksen uudelleenkäyttö edellyttää toimia teräsrakenteiden toimitusketjun kaikilta osilta, ja siksi tämä opas voi olla hyödyllinen myös laajemmalle yleisölle. Se kattaa suositukset yksikerroksisille teräsrakennuksille, kuten teollisuushalleille sekä monikerroksisille teräs- ja liittorakenteille.

Yksikerroksiset teräsrakennukset soveltuvat erityisen hyvin teräsrakenteiden talteenottoon ja uudelleenkäyttöön, koska:

- Rakennejärjestelmät ovat toistuvia ja ne noudattavat tarkasti samoja rakennemittoja,
- Ne on helppo asentaa ja purkaa,
- Rakennneosat ovat yleensä näkyvissä ja niihin pääsee käsiksi suhteellisen turvallisella työskentelykorkeudella,
- Ne ovat yleensä matalan käyttöasteen rakenteita,
- Normaalisti näissä rakenteissa ei ole erityistä palosuojaa,
- Niillä on hyvät mahdollisuudet standardoida geometriansa ja komponenttien käyttö,
- Jokainen komponentti on helppo dokumentoida.

Teräsrakenteiden talteenotto ja uudelleenkäyttö *monikerroksisissa teräsrakennuksissa*, joista suurin osa on teräs-betoni liittorakenteita, on vaikea haaste, koska liitovälipohjiin on hyvin rajoitettu pääsy. Chen et al. [4] esittelee ja käsittelee viittä mahdollista talteenottomenetelmää, joilla voidaan ratkaista vaikea haaste rakenneteräsosien talteenottamiseksi liittolaatoista uudelleenkäyttöä varten, eli vannesahaus, vaijerisahaleikkaus, seinäsahaleikkaus, laserporaus ja timanttiporaus. Näitä menetelmiä käytettiin kuitenkin laboratoriokokeissa teräsosien talteenottoon vain pienimuotoisista liittorakenteista. Käytännössä olemassa olevien monikerroksisten rakennusten teräsosia käytetään yleensä uudelleen vain paikan päällä (esim. laajan kunnostuksen kautta) niiden monimutkaisen liittorakenteen ja teknisten rajoitusten vuoksi. Niiden mahdollinen siirtäminen uusiin kohteisiin vaatisi tyypillisesti laajaa uudelleensuunnittelua, mikä rajoittaa käytännön toteutettavuutta. Vastaavasti kun kuivalattiajärjestelmät integroidaan monikerroksisiin rakennuksiin, ne tarjoavat paremmat purkamismahdollisuudet yksittäisille komponenteille. Tärkeää on, että näitä konsepteja on jo toteutettu todellisissa projekteissa - esimerkiksi irrotettavia ja uudelleenkäytettäviä teräsosia ja betonielementtejä on sovellettu menestyksekkäästi useissa rakennustapauksissa Suomessa [5],[6]. Tämän oppaan toisessa osassa esitellään useita innovaatioita uusien, uudelleenkäytettävien monikerroksisten järjestelmien suunnitteluun.

1.2 Suunnittelu-, asennus- ja tuotestandardit

Nämä suositukset on laadittu auttamaan rakennesuunnittelua, ja niissä viitataan seuraavissa standardeissa annettuihin sääntöihin ja periaatteisiin:

- EN 1090-1:2009+A1:2012 [7] - Execution of steel structures and aluminium structures, Part 1: Requirements for conformity assessment of structural components (incorporating CEN amendment A1:2012),
- EN 1090-2:2018+A1:2024 [8] - Execution of steel structures and aluminium structures, Part 2: Technical requirements for steel structures (incorporating CEN amendment A1:2024),
- CEN/TS 1090-201:2024 [2] - Execution of steel structures and aluminium structures - Reuse of structural steel,
- EN 1990:2023 [9] - Basis of structural and geotechnical design,
- EN 1991-1-1:2002 [10] - Actions on structures, Part 1-1: General actions – Densities, self-weight, imposed loads for buildings (incorporating CEN corrigenda Dec. 2004 and Mar. 2009),

- EN 1991-1-3:2002+A1:2015 [11] - Actions on structures, Part 1-3: General actions – snow loads (incorporating CEN corrigenda Dec. 2004 and Jun. 2009, and CEN amendment A1:2015),
- EN 1991-1-4:2002+A1:2010 [12] - Actions on structures, Part 1-4: General actions – wind actions (incorporating CEN amendment A1:2010),
- EN 1991-1-5:2003 [13] - Actions on structures, Part 1-5: General actions - Thermal actions,
- EN 1991-1-6:2005 [14] - Actions on structures, Part 1-6: General actions - Actions during execution,
- EN 1993-1-1:2022 [15] - Design of steel structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings,
- EN 1993-1-3:2024 [16] - Design of steel structures, Part 1-3: General rules – supplementary rules for cold-formed members and sheeting,
- EN 1993-1-8:2024 [17] - Design of steel structures, Part 1-8: Design of joints,
- EN 1993-1-10:2005 [18] Design of steel structures, Part 1-10: Material toughness and through-thickness properties (incorporating CEN corrigenda Dec. 2005, Sep. 2006 and Mar. 2009),
- EN 1994-1-1:2004 [19] Design of composite steel and concrete structures - General rules and rules for buildings.

Tämän asiakirjan laatimisessa käytettiin seuraavia tuotestandardeja, jotka määrittelevät geometriset ja mekaaniset vaatimukset, ja niitä tulisi käyttää yhdessä tämän asiakirjan kanssa:

- EN 10025-1:2004 [20] - Hot rolled products of structural steels, Part 1: General technical delivery conditions,
- EN 10025-2:2019 [21] - Hot rolled products of structural steels, Part 2: Technical delivery conditions for non-alloy structural steels,
- EN 10025-4:2019 [22] - Hot rolled products of structural steels, Part 4: Technical delivery conditions for thermomechanical rolled weldable fine grain structural steels (incorporating CEN amendment A1:2022),
- EN 10025-5:2004 [23] - Hot rolled products of structural steels, Part 5: Technical delivery conditions for structural steels with improved atmospheric corrosion resistance,
- EN 10029:2010 [24] - Hot rolled steel plates 3 mm thick or above, Tolerances on dimensions and shape,
- EN 10034:1993 [25] - Structural steel I and H sections – Tolerances on shape and dimensions,
- EN 10051:2024 [26] - Continuously hot rolled strip and plate/sheet cut from wide strip of non-alloy and alloy steels – Tolerances on shape and dimensions,
- EN 10055:1998 [27] - Hot rolled steel equal flange tees with radiused root and toes – Dimensions and tolerances on shape and dimensions,
- EN 10056-1:2017 [28] - Structural steel equal and unequal leg angles, Part 1: Dimensions,
- EN 10056-2:1993 [29] - Structural steel equal and unequal leg angles, Part 2: Tolerances on shape and dimensions,
- EN 10204:2004 [30] - Metallic products – Types of inspection documents,

- EN 10210-1:2006 [31] - Hot finished structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels, Part 1: Technical delivery requirements,
- EN 10210-2:2019 [32] - Hot finished structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels, Part 2: Tolerances, dimensions and sectional properties,
- EN 10219-1:2006 [33] - Cold formed welded structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels, Part 1: Technical delivery requirements,
- EN 10219-2:2019 [34] - Cold formed welded structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels, Part 2: Tolerances, dimensions and sectional properties,
- EN 10279:2000 [35] - Hot rolled steel channels – Tolerances on shape, dimension and mass,
- EN 10346:2015 [36] - Continuously hot-dip coated steel flat products for cold forming – Technical delivery conditions,
- EN 10169:2022 [37] - Continuously organic coated (coil coated) steel flat products - Technical delivery conditions,
- EN 10365:2017 [38] - Hot rolled steel channels, I and H sections – Dimension and masses,
- EN 14399 series [39] - High-strength structural bolting assemblies for preloading (all parts),
- EN 14509:2013 [40] - Self-supporting double skin metal faced insulating panels, Factory made products, Specifications.

1.3 Termit ja määritelmät

Tässä ohjeessa on käytetty seuraavia termejä ja määritelmiä.

Vaippa/kuorirakenne	Julkisivu- ja vesikatto, jotka muodostavat rakennuksen vaipan ja tarjoavat vaaditun lämpö- ja äänieristävyyden, vesi- ja ilmatiiviyden, palosuojauksen, esteettisen ulkonäön ja kantavuuden.
Komponentti	Osa teräsrakennetta, esim. ristikko, sandwich-paneeli. Voi olla useiden pienempien komponenttien kokoonpano
Seuraamusluokat	Eurokoodiin perustuva rakennusten luokittelu, joka perustuu vian tai toimintahäiriön seurauksiin ihmisille, taloudelle tai ympäristölle; Kuhunkin seuraamusluokkaan liittyy erilaisia luotettavuusindeksejä.
Tuotteen ainesosa	Rakennusrakenteiden valmistuksessa käytettävät materiaalit tai tuotteet, joiden ominaisuuksia käytetään laskettaessa rakennusten ja niiden osien mekaanista kestävyyttä ja vakautta ja/tai niiden palonkestävyyttä, mukaan lukien kestävyys- ja huollettavuuteen liittyvät näkökohdat.
Teräsrakenne	Yleisnimitys, joka tarkoittaa rakentamisessa (primäärinen ja sekundäärinen) ja teräspohjaisessa julkisivussa käytettyä teräsrakennetta.

Lajitteleva purkaminen	Prosessi, jossa rakennus puretaan osiinsa siten, että osia voidaan helposti käyttää uudelleen säilyttämällä komponentit ja materiaalit.
Purkaminen	Prosessi, jossa rakennus puretaan ilman, että sen osia yritetään ottaa talteen vain vähän tai ei ollenkaan uudelleenkäyttöä varten; Purkutyöstä syntyvät materiaalit voidaan kuitenkin kierrättää.
Suunniteltu käyttöikä	Oletettu aika, jonka komponenttia on tarkoitus käyttää aiottuun tarkoitukseen ennakoidun huollon kanssa, mutta ilman suuria korjauksia.
Jakelija	Toimitusketjun luonnollinen henkilö tai oikeushenkilö, joka ei ole valmistaja tai maahantuojaja ja joka asettaa rakennustuotteen saataville markkinoilla.
Rakennuksen vaippa (Envelope)	Rakennuksen komponentit tai osat, jotka erottavat sisätilan ulkoisesta ympäristöstä ja joihin liittyy erilaisia rakenne- ja rakennusfysiikan toimintoja.
Toteutusluokka	Eurokoodiin perustuvat luokitellut vaatimukset, jotka on määritellyt rakennusurakan toteuttamiselle kokonaisuutena, yksittäiselle komponentille tai osan yksityiskohdalle.
Julkisivu	Ulkoseinän verhous.
Lattia/välipohja	Osa rakennetta, jonka tehtävänä on tarjota rakennuksen hyödyllistä tilaa. Rakenteellisesti se siirtää kuormia pylväisiin ja seiniin ja antaa stabiliteettia vaakasuunnassa koko rakennukselle
Maahantuojaja	EU:hun sijoittautunut luonnollinen henkilö tai oikeushenkilö, joka saattaa kolmannesta maasta peräisin olevan rakennustuotteen EU:n markkinoille.
Paikan päällä tapahtuva uudelleenkäyttö	Komponentin tai rakenteen uudelleenkäyttö samassa kohteessa. Esimerkiksi rakennuksen voidaan käyttää uudelleen rakennuksen peruskorjauksen aikana.
Valmistaja	Luonnollinen henkilö tai oikeushenkilö, joka valmistaa rakennustuotteen ja markkinoi sitä omalla nimellään tai tavaramerkillään.
Ilmoitettu laitos	EU:n/ETA:n tunnustama riippumaton (valtiosta riippumaton) kolmas osapuoli, jolla on valtuudet tehdä vaatimustenmukaisuuden arviointeja tuotteille, jotka täyttävät yhdenmukaistetun standardin (hEN) tai eurooppalaisen teknisen arvioinnin (ETA) vaatimukset.

Purkua edeltävä auditointi	Rakennus- ja purkujätevirtojen laadullinen ja määrällinen arviointi ennen rakennusten ja infrastruktuurien purkamista tai kunnostamista.
Primäärinen teräsrakenne	Primääriteräsrunko, joka sisältää kaikki tärkeimmät kantavat elementit, kuten pilarit, palkit ja jäykisteet.
Alkuperä	Perustiedot uudelleenkäytettävien rakenneosien aiemmasta käytöstä
Ostaja	Yritys, joka ostaa terästuotteita; yleensä teräsurakoitsija, joka valmistaa teräsrakennetta.
Kunnostus	Prosessi, jossa tuote palautetaan hyvään toimintakuntoon vaihtamalla vialliset komponentit ja päivittämällä tuotteen ulkonäköä, kuten puhdistamalla, maalaamalla tai pintakäsittelemällä.
Kierrätys	Prosessi käytöstä poistettujen materiaalien muuntamiseksi uusiksi materiaaleiksi ja tuotteiksi; Teräksen kierrätyksessä romu sulatetaan uudelleen uusien puolivalmisteiden muodostamiseksi.
Saneeraus	Olemassa olevan rakennuksen kunnostusprosessi uuteen käyttötarkoitukseen sopivaksi, joka voi sisältää erilaisia prosesseja varusteiden vaihdosta suuriin rakenteellisiin muutoksiin.
Siirretty uudelleenkäyttö	Uudelleenkäyttö, kun prosessi vaatii rakenteen tai komponentin kuljettamista sen uudelleenkäyttämiseksi toisessa kohteessa. Päinvastoin kuin paikan päällä tapahtuva uudelleenkäyttö.
Kunnostus	Tuotteen tai komponentin palauttaminen alkuperäisen valmistajan suorituskykyvaatimusten mukaisesti.
Korjaus	Vian korjaaminen, mutta ilman takuuta tuotteesta kokonaisuutena. Teräsrakenteiden yhteydessä tämä voi tarkoittaa komponentin vahvistamista.
käyttötarkoituksen muutos	Mikä tahansa toiminto, joka muuttaa komponentin toimintaa tai käyttötarkoitusta.
Uudelleenkäyttö	Vanhojen komponenttien käyttö vähäisillä tai olemattomilla muutoksilla, suurelta osin alkuperäisessä muodossaan; Niitä voidaan käyttää uudelleen alkuperäiseen toimintoon tai käyttää uudelleen uuteen toimintoon.
Sekundäärinen rakenne	Toissijainen teräsrakenne, joka koostuu orsista, joita käytetään julkisivun tukemiseen. Joissakin tapauksissa se voi tukea ensisijaista rakennetta.

Rakenteellinen komponentti	Rakenteen komponentti, joka on suunniteltu tarjoamaan mekaanista kestävyyttä ja vakautta ja/tai palonkestävyyttä, mukaan lukien kestävyteen ja huollettavuuteen liittyvät näkökohdat.
Rakenteellinen kokoonpano	Joukko standardoituja rakenneosia, jotka kootaan ja asennetaan paikan päällä.
Tavarantoimittaja	Yritys, joka varastoi ja toimittaa terästuotteita markkinoille.
Testiyksikkö	Ryhmä yksittäisiä uudelleenkäytettäviä rakenneosia, joilla on identtiset geometriset ominaisuudet ja sama toiminto ja joiden olennaiset ominaisuudet voidaan määrittää testaamalla yksi tai muutama edustava rakenneosa.
Tyypin 1 rakenneteräs	Rakenneteräs, joka on valmistettu vuonna 1970 tai sen jälkeen ja jolla on ominaisuuksia, mukaan lukien niiden vaihtelut, jotka vastaavat jotakin standardissa EN 1993-1-1 luetelluista rakenneteräsmateriaaleista.
Tyypin 2 rakenneteräs	Rakenneteräsmateriaali, joka on valmistettu ennen vuotta 1970 ja jolla on ominaisuuksia, jotka voivat poiketa merkittävästi standardissa EN 1993-1-1 luetelluista rakenneteräsmateriaaleista.
Jäte	Materiaali hävitettäväksi.

2 YKSI- JA MONIKERROKSISTEN RAKENNUSTEN KOMPONENTIT

2.1 Yksikerroksiset teräsrakennukset (SSB)

Yksikerroksiset teräsrakennukset (SSB) ovat erittäin monikäyttöisiä ja niitä käytetään yleisesti erilaisissa sovelluksissa, kuten varastoissa, liiketiloissa, teollisuus- ja maatalousrakennuksissa. Niiden luontaiset ominaisuudet, kuten lujuus, kestävyys ja joustavuus, tekevät niistä ihanteellisia monenlaisiin suunnitteluvaatimuksiin.

Yksikerroksiset rakennukset luokitellaan niiden rakennejärjestelmien perusteella, jotka on räätälöity vastaamaan erityisiä toiminnallisia vaatimuksia ja olosuhteita. Yksikerroksisissa rakennuksissa käytettyjä ensisijaisia rakennejärjestelmiä ovat portaalikehät ja ristikot. Jokaisella järjestelmällä on erilaisia ominaisuuksia, jotka vaikuttavat rakennuksen suunnitteluun, rakentamiseen ja yleiseen suorituskykyyn. Yksikerroksisessa rakennuksessa on yleensä pitkät jännevälit, ja niissä voi olla myös toimistotiloja yhdistettyinä.

Yksikerroksisten rakennusten laaja käyttö osoittaa teräksen mukautuvuuden rakennusmateriaalina, ja se tarjoaa erilaisia vaihtoehtoja, jotka on räätälöity vastaamaan erityisiä rakenteellisia, esteettisiä ja toiminnallisia vaatimuksia varmistaen samalla tehokkuuden ja turvallisuuden. Yksikerroksiset rakennukset voidaan helposti mukauttaa eri toiminnallisuuksiin ja ne tarjoavat nopean rakennusaikataulun ja kustannustehokkuuden. Tämä moderni rakennusmenetelmä, jolle on ominaista sen kevyet, palonkestävät ja kestävät materiaalit, kehittyy jatkuvasti ja joka tarjoaa parempia malleja ja tekniikoita, jotka parantavat suorituskykyä ja kestävyyttä rakennussovelluksissa.

Tyypillinen yksikerroksinen rakennus portaalikehällä on esitetty Kuva. 2.1 [41]

Rakenteessa on kolme tasoa:

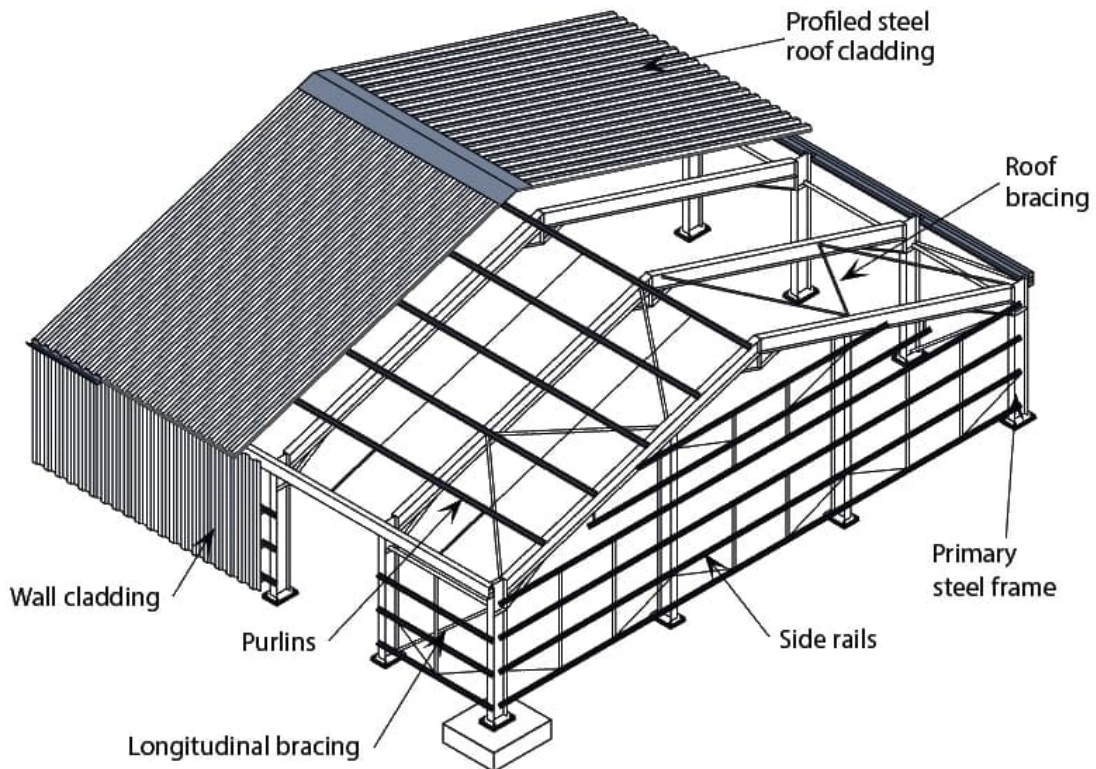
- Primääri teräsrakenne, joka koostuu rungosta sekä katon ja seinien jäykistyksistä,
- Sekundääriset teräsrakenteet, jotka koostuvat seinien koolausorsista ja katon orsista, jotka ovat yleensä kylmävalssattuja,
- Seinä- ja kattoverhoukset, jotka ovat tyypillisesti sandwich-paneeleita (kutsutaan myös PVP-paneeliksi) ja paikallarakennettuja kattojärjestelmiä.

Kuormat:

- Rakenteen ja sen komponenttien, mukaan lukien laitteiden omapaino,
- Rakennuksen käyttöasteen ja käytön mukaan rakenteeseen vaikuttavat muuttuvat kuormat,
- Ympäristövaikutuksista, kuten lumesta, tuulesta, lämpökuormista ja seismisistä vaikutuksista, aiheutuvat kuormat.

Yksikerroksisten rakennusten runkovaihtoehdot ovat seuraavat:

- Yksinkertainen pilari/palkki -rakenne,
- Portaalikehät ja niiden muunnellut erilaisilla jänneväleillä,
- Ristikorakenteet (ristikot) pidemmille jänneväleille tai raskaille kattokuormille.



Kuva. 2.1 Tyypillinen portaalikehäinen yksikerroksinen rakennus [41]

2.1.1 Primääri teräsrakenne: Rakenteelliset rungot ja jäykistysjärjestelmät

Portaalikehä rakenteet ovat yksi Euroopan yleisimmistä järjestelmistä, ja ne voivat olla harjalla tai ilman. Nämä järjestelmät koostuvat sarjasta jäykästi toisiinsa liitettyjä kehiä, jotka koostuvat tyypillisesti pystysuorista pilareista ja palkeista, erilaisista kattojärjestelmistä ja sekundääriorsista. Pilarit toimivat pystysuorina tukina, jotka siirtävät kuormia katolta perustukseen. Palkit pilareiden palkkien välissä tarjoavat tarvittavan tuen katolle. Osat on usein valmistettu valssatuista teräsosista, hitsatuista osista tai teräsputkista. Liitosten jäykkyyden ansiosta kehät kestävät sivuttaiskuormituksia, joten ne soveltuvat erityisen hyvin alueille, jotka ovat alttiina tuulelle tai seismisille voimille. Portaalikehän muotoilu mahdollistaa laajat tilat ja joustavat sisätilat ilman sisällä olevia pilareita, mikä on tilankäytön kannalta hyvä varastoissa tai liiketiloissa.

Runko voidaan suunnitella yksinkertaisen rakentamisen, jatkuvan rakentamisen tai puolijatkuvan rakentamisen periaatteiden mukaisesti. Yksinkertaisessa rakenteessa osien väliset liitokset on niveliä, eivätkä ne välitä merkittäviä taivutusmomenteja. Vaakasuuntaiset kuormat otetaan vastaan jäykisteillä. Jatkuvassa rakenteessa liitokset on suunniteltu momenttijäykiksi, jotka siirtävät taivutusmomenteja osien välillä. Puolijatkuva rakenne on suunniteltu kestämaan momenteja, mutta ei niin paljon kuin täysin jäykässä (jatkuvassa) rungossa. Tämä mahdollistaa enemmän joustavuutta suunnittelussa ja voi parantaa rakenteellista suorituskykyä ja taloudellisuutta.

Ristikkojärjestelmät ovat toinen vaihtoehto yksikerroksisissa teräsrakennuksissa koska ne ovat kevyitä ja lujia. Ristikot tukevat kattoja tehokkaasti ja minimoivat materiaalinkäytön. Rakenteesta riippuen ristikkojärjestelmät voivat olla harjallisia tai tasaisia, mikä mahdollistaa

arkkitehtonisen estetiikan ja toiminnalliset tarpeet. Ristikot jakavat kuormat monien liitosten kautta ja niillä päästään pitkiin jänneväleihin esimerkiksi urheilurakentamisessa.

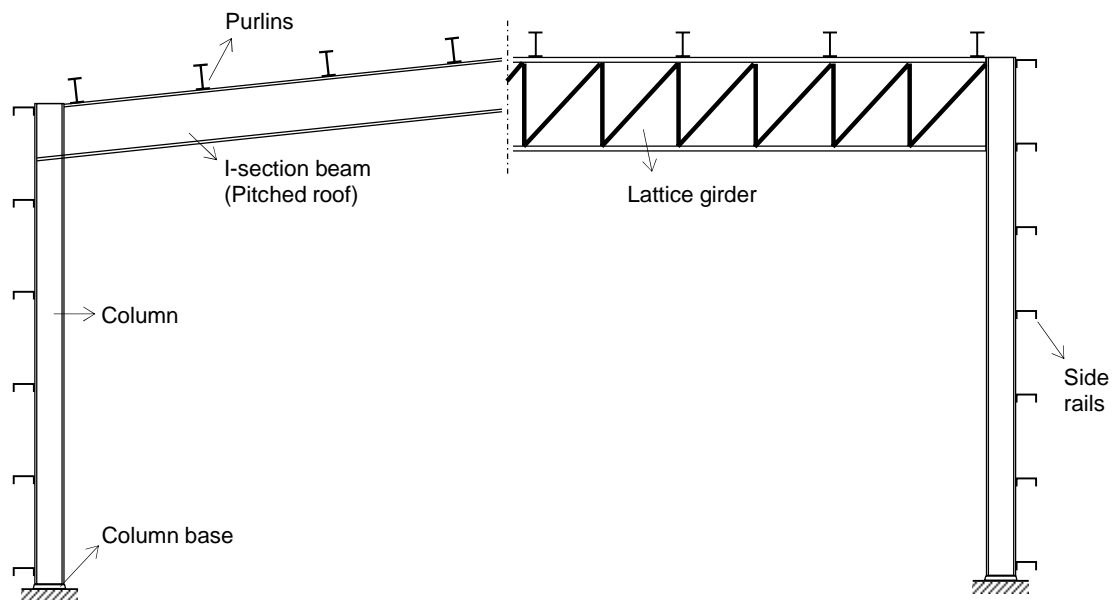
Sekundääriset komponentit tukevat kattoja ja seiniä. Nämä komponentit koostuvat kantavista profiileista, orsista tai kaseteista, jotka siirtävät kuormat takaisin päärunkoon. Vaippa tarjoaa rakennukselle toimivan sisäympäristön ja sisältää komponentteja, kuten kattoikkunoita ja tuuletusaukkoja. Vaippa ja toissijainen teräs rakenne voivat estää päärunkoelementtien nurjahduksen.

2.1.2 Kattorakenteet

Kattojärjestelmät on suunniteltu siirtämään kuormat ja muodostamaan vaippa rakennukseen vaaditun sisäisen ympäristön ja toiminnan ylläpitämiseksi. Rakenteellisesta näkökulmasta kattojärjestelmät on suunniteltu kestämään omaa painoa, toissijaisten vesikattorakenteiden materiaalien aiheuttamia pysyviä kuormia, staattisia kuormia, lumikuormia ja tuulikuormia, mukaan lukien imukuormat. Vesikatto tarjoaa myös ääni- ja lämpöeristyksen, joten rakennuksen vaippa on ilmatiivis ja vedenpitävä.

Yksikerroksisten rakenteiden yleiset kattojärjestelmät on esitetty Kuva. 2.2, jotka ovat:

- Kaltevat kattoportaalikehät (käyttämällä kaltevia palkkeja/kattoja, jotka on liitetty jäykillä liitoksilla pilareihin) jänneväleille ~50 metriin asti. Niissä voi olla yksi- tai useampia kehävälejä, ja kaltevuus on yleensä noin 6° vaakatasoon nähden;
- Ristikot, jopa ~100 metrin jänneväleille tai jos katolla on raskaita kuormia.



Kuva. 2.2 Tyypillinen yksikerroksinen rakennus

2.1.3 Jäykistysjärjestelmät

Yksikerroksisissa rakennuksissa käytettävät jäykistysjärjestelmät voivat olla seuraavia:

- Pysyvä jäykistys,
- Väliaikainen jäykistys,
- Puristuslaippoihin ja pylväsjatkoksiin tukeva kiinnitys.

Pysyvä jäykistys on suunniteltu tarjoamaan rakenteelle yleistä vakautta. Se sisältää usein ristikoita ja/tai vesikaton tuottamaa levyjäykistystä. Kun käytetään poikittaisjäykistyksiä, ne voivat toimia vain vetoa vastaan, jolloin poikittaistuen puristettu osa voi nurjahtaa. Kantava profiili voi toimia levynä (levyvaikutus) ja jäykistää rakennusta huomattavasti.

Väliaikainen jäykistys voi olla tarpeen asennusjärjestyksestä riippuen.

Yleisin vaihtoehto on käyttää sekundäärejä vinotuilla nurjahduksen rajoittamiseksi. Suurikokoisissa rakennuksissa voidaan tarvita ylimääräinen lisjäykistyksiä.

2.1.4 Sekundääriset teräsrakenteet

Katon sekundäärinen teräsrakenne koostuu tyypillisesti teräsorsista, primääripalkkien välissä. Perinteisesti kuumavalssattuja profiileja on käytettiin orsina mutta viime aikoina kylmämuovattut orret ovat tulleet erittäin suosituiksi. Katon rakenteesta riippuen orsivälit ovat yleensä 1,2–2,5 m (tyypillinen arvo on 1,8 m). Toissijaista teräsrakennetta ei tarvita, jos kattorakenteena käytetään kantavaa profiilipeltiä.

Katto-orret ovat yleensä C- tai Z-muotoisia kylmämuovattuja osia. Ne on suunniteltu:

- Siirtämään kuormat katolta ensisijaiseen teräsrunkoon, mukaan lukien lumen ja huoltotöiden aiheuttamat kuormitukset,
- Siirtämään vaakasuorat kuormat rungolle
- Jäykistämään primäärirunkoa.

Orret toimitetaan yleensä osana vesikatto- ja julkisivujärjestelmää yhdessä kiinnikkeiden ja muiden niihin liittyvien komponenttien kanssa.

Julkisivuverhousta voivat tukea usein vaakasuorat koolausorret, jotka ulottuvat rungon pilarien väliin. Tämä järjestelmä ei kuitenkaan ole kovin yleinen Suomessa. Nykyään kylmämuovattut C-profiilit ovat erittäin suosittu vaihtoehto, mutta kylmämuovattuja Z-profiileja voidaan käyttää, jos vaakaorsi on suunniteltu jatkuvaksi usean pilarin yli. Vaakaorret on suunniteltu:

- Siirtämään kuormat, mukaan lukien tuulikuorma, seinäverhouksesta pilareille,
- Siirtämään vaakasuorat kuormat jäykistysosille,
- Antaa sivuttaistukea pilareille.

Verhous myös jäykistää seinää ja siirtää merkittävän osan pystykuormasta suoraan pilareihin ja estää vaakaorsien nurjahtamista.

2.1.5 Vaippa

Vaipan päätehtävänä on tarjota hallittu sisäympäristö rakennuksen käyttötarkoituksesta riippuen. Vaipan yleiset vaatimukset ovat seuraavat:

- Tarjota vaadittu lämmöneristys,
- Ottaa tuulen paine ja imu vastaan orsien kiinnikkeiden kautta,
- Estää palon leviäminen,
- Tarjota ilmatiivis rakennuksen vaippa,
- Sisältää järjestelmä ilmanvaihtoa varten, esimerkiksi mekaanisilla laitteilla,

- Tarjota rakennuksen käyttötarkoituksen mukainen äänieristys,
- Antaa stabiliteettiä sekundääreille ja myös primääriteräksille.

Yksikerroksisissa rakennuksissa lyhyen jännevälin julkisivut (jännevälit 2 - 3 m) kiinnitetään yleensä sekundääriseen teräsrakenteeseen. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää pitkän jännevälin rakennetta, jonka jänneväli on jopa 10 m. Katolla voi olla kantava profiili tai panelijärjestelmä sekundäärituilla. Seinillä on vaakasuoraan asennetut sandwich-paneelit pilareiden välissä.

Tyypilliset vaipan järjestelmät ovat seuraavat:

- Kantava profiili vesikatolla,
- Paikalla rakennetut järjestelmät sekundääriorsilla,
- Standing seam -järjestelmät (esim Kalzip),
- Standing seam ja rakenteellinen c-kasetti,
- Sandwich-paneelit (PVP-paneelit)

2.1.6 Yksikerroksisten teräsrunkoisten rakennusten suunnitteluoppaat. Lisäasiakirjat

Yksikerroksisten teräsrunkoisten rakennusten suunnitteluoppaat on laadittu Arcelor Mittalin, Peiner Trägerin ja Corusin toimesta. Teknisen sisällön valmistivat CTICM ja SCI, jotka tekivät yhteistyötä Steel Alliancena. Tämä on saatavilla osoitteessa https://constructalia.arcelormittal.com/en/news_center/articles/design_guides_steel_buildings_in_europe [41]. Se koostuu seuraavista:

- Single-storey steel buildings - Part 1: Architect's guide;
- Single-storey steel buildings - Part 2: Concept design;
- Single-storey steel buildings - Part 3: Actions;
- Single-storey steel buildings - Part 4: Detailed design of portal frames;
- Single-storey steel buildings - Part 5: Detailed design of trusses;
- Single-storey steel buildings - Part 6: Detailed design of built-up columns;
- Single-storey steel buildings - Part 7: Fire engineering;
- Single-storey steel buildings - Part 8: Building envelopes;
- Single-storey steel buildings- Part 9: Introduction to computer software;
- Single-storey steel buildings - Part 10: Model construction specifications;
- Single-storey steel buildings - Part 11: Moment connections.

Yksikerroksisten teräsrunkoisten rakennusten suunnitteluoppaat löytyvät myös osoitteesta <https://steelconstruction.info/> [43]. Nämä ovat:

- SCI P164: Design of portal frames for Europe. The Steel Construction Institute, 2001;
- SCI P252: Design of single span steel portal frames to BS 5950:2000. The Steel Construction Institute, 2004;
- SCI P346: Best practice for the specification and installation of metal cladding and secondary steelwork. The Steel Construction Institute, 2006;
- SCI P347: Single storey buildings - Best practice guidance for developers, owners, designers & constructors. The Steel Construction Institute, 2006;
- EP37: Best practice in steel construction – Industrial buildings. Guidance for architects, designers & constructors. The Steel Construction Institute, 2008;
- SCI P397: Elastic design of single-span steel portal frame buildings to Eurocode 3. The Steel Construction Institute, 2012;

- SCI P399: Design of steel portal frame buildings to Eurocode 3, The Steel Construction Institute, 2015;
- Target Zero: Guidance on the design and construction of sustainable, low carbon warehouse buildings. Tata Steel and BCSA, 2011;
- Scheme development: Selection of the external wall envelope system for single storey buildings, SS019a-EN-EU. Access Steel;
- Scheme development: Details for portal frames using rolled sections, SS051a-EN-EU. Access Steel;
- Scheme Development: Design of portal frames using fabricated welded sections, SS052a-EN-EU. Access Steel;
- Scheme development: Selection of the external roof envelope system for single storey buildings, SS018a-EN-EU. Access Steel;
- Scheme development: Overview of structural systems for single-storey buildings, SS048a-EN-EU. Access Steel.

Tämä luettelo ei ole tyhjentävä, ja myös tiettyjä maita tai tuotteita koskevia lisäasiakirjoja voidaan soveltaa.

2.2 Monikerroksiset teräsrakennukset (MSB)

Monikerroksiset teräsrakennukset ovat monimutkaisia rakenteita, joissa käytetään erilaisia rakennejärjestelmiä, jotka on suunniteltu kestämaan niiden elinkaaren aikana kuormia ja voimia. Näiden rakennusten suunnittelu perustuu teräksen käyttöön sen lujuuden, monipuolisuuden vuoksi. Monikerroksiset teräsrakennukset luokitellaan usein niiden rakenteellisten runkojärjestelmien perusteella, jotka tarjoavat tarvittavan tuen ja vakauden koko järjestelmälle.

Yksi ensisijainen luokitus perustuu käytetyn rakennejärjestelmän tyyppiin, joka voi sisältää momentin kestävät rungot, jäykistetyt rungot ja vaakavoimia vastaanottavat seinät (shear wall). Runkojärjestelmän valintaan vaikuttaa ensisijaisesti rakennuksen korkeus, ja tyypillisiä vaihtoehtoja ovat seuraavat:

- Momentin kestävät rungot – sopivat enintään noin 4-kerroksisiin rakennuksiin, joissa vaakasuuntaiset kuormat ovat avainasemassa,
- Kehäjäykistetty runko – käytetään tyypillisesti enintään 12 kerroksisissa rakennuksissa,
- Teräs- tai betonisydämet (vaakavoimia vastaanottavat seinäjärjestelmät esim hissikuilut ytimenä) – soveltuvat enintään noin 40-kerroksisiin rakennuksiin.

Erittäin korkeiden rakennusten runkojärjestelmiä ei käsitellä tässä oppaassa.

Momenttijäykille rungoille on ominaista niiden kyky ottaa vastaan sivuttaisvoimia palkkien ja pilarien välisten jäykkien liitosten kautta. Rakennejärjestelmä mahdollistaa rungon liikkumisen sivuttaiskuormituksessa. Rungossa on joustavuutta ja lujuutta. Liitosten jäykkyyden ansiosta rakenne säilyttää muotonsa ja jakaa voimat tasaisesti koko runkoon. Käyttämällä momenttijäykkiä runkoja saadaan aikaiseksi avoimia pohjapiirroksia.

Jäykistetyissä rungoissa puolestaan on diagonaaliset sekundäärit pilareiden ja palkkien välissä, joka parantaa vakautta. Nämä diagonaalituet ottavat vastaan tehokkaasti sivuttaisvoimia, mikä tekee tästä järjestelmästä erityisen sopivan korkeampiin rakennuksiin. Rakenne vähentää tarvittavan teräksen määrää verrattuna momentinkestäviin runkoihin

säilyttäen samalla rakenteellisen kokonaisuuden. Jäykisteillä on eri vaihtoehtoja, mukaan lukien X-tuet, V-tuet ja polvituet (knee braces), arkkitehtonisen tarkoituksen ja suunnitteluvaatimusten mukaan.

Leikkausvoimia vastaanottavissa seinäjärjestelmissä (shear wall) on teräsbetonista tai teräksestä valmistetut pystysuorat seinät, jotka on sijoitettu strategisesti rakennukseen kestäämään vaakakuormituksia. Seinät siirtävät tehokkaasti voimia perustukseen, mikä tekee niistä ihanteellisia rakennuksiin, jotka on suunniteltu kestäämään korkeita tuulenpaineita tai seismistä aktiivisuutta, mikä lisää rakenteen jäykkyyttä ja vakautta. Leikkausseinien integrointi voi parantaa merkittävästi rakenteen jäykkyyttä ja mahdollistaa avoimet pohjaratkaisut.

Kuormitusolosuhteet:

- Rakenteen ja sen komponenttien, mukaan lukien laitteiden omapaino,
- Rakennuksen asumisesta ja käytöstä aiheutuvat muuttuvat kuormitukset, mukaan lukien siirrettävät väliseinät,
- Ympäristövaikutuksista, kuten lumesta, tuulesta tai lämpö- ja seismisistä vaikutuksista, aiheutuvat kuormitukset,
- Vahinkotapahtumista, kuten ajoneuvojen törmäyksistä, räjähdyksistä, aiheutuvat kuormat.

Monikerroksisessa teräsrakennuksessa rakenteessa on tyypillisesti:

- Primäärirunko, joka koostuu palkeista, pilareista, välipohjista ja jäykisteistä,
- Sekundääriosat, jotka ovat reunapalkkeja, portaita, kevyempiä jäykistysjärjestelmiä ja sekundäärisiä palkkeja,
- Vesikatto ja seinien erilaiset julkisivujärjestelmät

2.2.1 Rakennuksen primäärirunko

Monikerroksisissa rakennuksissa rakennuksen painon tukeminen ja kuormien jakautuminen perustukselle varmistetaan pilareista ja palkeista koostuvalla primäärirungolla. Perustuksille voimia siirtävien pisteiden lukumäärä riippuu käyttötarkoituksesta ja kuormista, joita se vaatii, ja valitusta perustustyyppistä (johon puolestaan vaikuttavat rakennustyömaan maaperäolosuhteet).

Monikerroksiset rakennukset altistavat pilarit merkittäväälle puristukselle, joka edellyttää tarkkaa suunnittelua nurjahduskestävyyden vuoksi. Riippuen pilarijaon koosta ja asettelusta, asennuskustannuksista, teräsprofiilien kustannuksista, liittämisen helpoudesta toissijaisiin komponentteihin (katot, seinät, julkisivut), palon- tai korroosionkestävyysvaatimusten noudattamisasteesta tai arkkitehtonisista mieltymyksistä, monikerroksisissa rakenteissa yleisesti käytetyt pilarityypit ovat teräksisiä H-profiileja tai putkiprofiileja (liittopilareita).

Palkeilla on tärkeä rooli pystysuuntaisten kuormien siirrossa. Nämä vaakasuorat elementit, jotka ovat ensisijaisesti alttiina taivutusmomenteille, vaativat riittävää jäykkyyttä ja lujuutta rakenteen yhtenäisyyden varmistamiseksi. Saatavilla on laaja valikoima profiileita, kuten pienille ja keskisuurille jänneväleille sopivia kuumavalssattuja profiileja, hitsattuja palkkeja (käytetään yleensä pidemmissä palkeissa), kuumavalssatuista osista hitsattuja liittopalkkeja, joissa on pyöreät tai kuusikulmaiset aukot (Delta, A-palkki), jotka on leikattu rainaan läpivientejä varten.

Liittopalkit soveltuvat suurille jänneväleille (jopa ~20 m), koska ne hyödyntävät betonilaatan suurta puristuspinta-alaa ja teräspalkin suurta vetolujuutta, mikä osoittaa poikkeuksellista mekaanista suorituskykyä kantavuudessa ja jäykkyydessä. Liittorakenteita on useita erilaisia: betonilaattoja, jotka vaativat väliaikaisia muotteja, betonilaattoja, joissa on teräksisiä liittolevyprofiileita ja koteloituja betonitäytteisiä palkkeja palonkestävyyden lisäämiseksi. Monikerroksisissa rakennuksissa käytetään yleensä ohuita välipohjia käyttötilan maksimoimiseksi. Liittopalkit ovat betonilaatan korkuisia, mikä pienentää lattian kokonaispaksuutta.

Kuva 2.3 näyttää eri välipohjarakenteiden jännevälialueet.

	Span (m)					
	6	8	10	13	16	20
Reinforced concrete flat slab	■					
Slim floor beams and deep composite slab	■	■				
Integrated beams with precast slabs	■	■	■			
R.C. beams and slab		■	■	■		
Post-tensioned concrete flat slab		■	■	■		
Composite beams and slab		■	■	■	■	
Fabricated beams with web openings			■	■	■	■
Cellular composite beams			■	■	■	■
Composite trusses					■	■

Kuva. 2.3 Jännevälialueet välipohjajärjestelmille [41],[44]

2.2.2 Jäykisteet monikerroksisiin rakennuksiin

Rungon lisäksi monikerroksisten rakennusten stabiliteetti voidaan varmistaa jäykistysjärjestelmillä. Jäykistysten käyttö vakauden takaamiseksi yhdessä jäykkien runkojen kanssa on kustannustehokas ratkaisu, sillä pelkkien jäykkien runkojen käyttö vakauden ylläpitämiseksi vaatii paksumpia pilareita ja joskus palkkeja, mikä johtaa korkeampiin kustannuksiin rakennuksen kerrosten määrän kasvaessa. Siksi optimaalisessa taloudellisessa ratkaisussa rakennuksen runko voi tarjota ensisijaisen tuen yhteen suuntaan, kun taas jäykisteet parantavat stabiliteettia toiseen suuntaan.

Jäykisteet seinien yhteydessä sisältävät erilaisia kokoonpanoja, jotka on tyypillisesti julkisivun sisällä tai portaikkojen ja palvelutilojen ympärillä. Seismisillä alueilla voidaan käyttää useita runkojärjestelmiä parantamaan seismisten kuormien kestävyttä. Näitä järjestelmiä ovat:

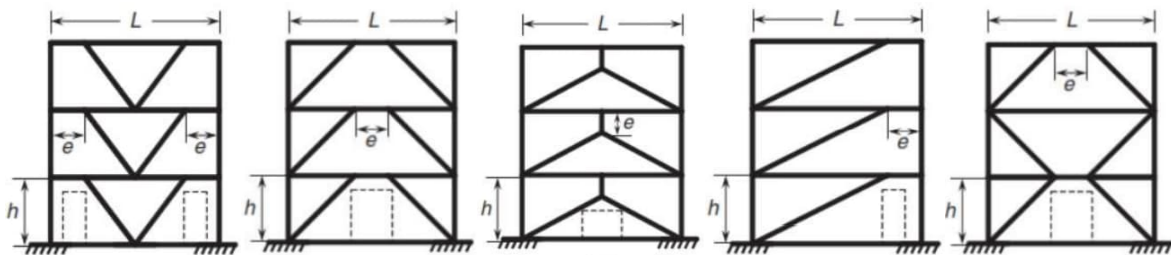
- Momenttia kestävät runkojärjestelmät (MRF): Näissä järjestelmissä palkkien ja pylväiden jäykkyys ottaa vastaan seismisiä vaakavoimia,
- Samankeskisesti jäykistetyt kehykset (CBF): CBF:t käyttävät rungon sisällä olevia diagonaalisia tukia vastustamaan leikkausvoimia. CBF:issä kannattimien pituusakseli on samankeskinen palkin keskipisteeseen nähden,
- Epäkeskisesti jäykistetyt kehykset (EBF): CBF:ien tapaan EBF:t sisältävät jäykisteitä, mutta nämä on suunniteltu taipumaan ja hajottamaan energiaa

maanjäristyksen aikana. EBF: issä jäykisteiden pituusakseli on epäkeskinen palkin keskipisteeseen nähden.

- Nurjahdusta vastaan suunnitellut jäykistetyt kehät (BRBF): BRBF:t korjaavat perinteisten jäykisteiden rajoitukset sisällyttämällä nurjahdustuet, jotka estävät tukien nurjahduksen seismisissä kuormituksissa,
- Erityiset leikkausseinät (SPSW): Nämä teräslevyistä rakennetut seinät toimivat jäykkinä elementteinä vastustamaan seismisten kuormien aiheuttamia leikkausvoimia.

Rakenteellinen EBF-järjestelmä joka yhdistää MRF-järjestelmän ja CBF-järjestelmän ja antaa korkean sitkeyden (kuten MRF-järjestelmä) ja korkean elastisen jäykkyyden (kuten CBF-järjestelmä), sisältää useita jäykistyskokoontenpanoja, kuten kuvassa 2.4 näkyy.

Poikkijäykistysjärjestelmiä käytetään myös monikerroksisissa rakennuksissa pystysuoran vakauden takaamiseksi, koska nämä rakennukset suunnitellaan yleensä nivelillä. Jäykistysjärjestelmät voidaan sijoittaa rakennuksen ulkopuolelle tai sisälle.



a) V-jäykistys b) K-jäykistys c) EBF pystysuoralla osalla d) Jaetut K-jäykisteet e) Käänteiset Y-jäykisteet

Kuva. 2.4 Jäykistyskokoontenpanojen tyypit EBF-järjestelmässä

2.2.3 Kerrokset monikerroksisissa rakennuksissa

Monikerroksisessa rakennusrakenteessa välipohjat suorittavat kuormien siirtämisen pystysuoriin elementteihin, ja samalla ne tarjoavat vakautta vaakatasossa tuomansa levyvaikutuksen vuoksi, mikä edistää rakenteen kokonaisvakautta. Monikerroksisissa rakennuksissa välipohjan värinä voi olla kriittinen tekijä suunnittelussa. Talotekniikka voidaan integroida itse lattiarakenteeseen. Vaihtoehtoisesti palvelut voidaan asentaa lattian alle. Liikerakennuksissa korotetut lattiat mahdollistavat tekniikan helpon jakamisen lattiapinnan alla olevaan tilaan. Tämä helpottaa näiden tulevaa ylläpitoa ja muokkaamista häiritsemättä rakennuksen toimintaa.

Välipohjajärjestelmän valinta perustuu useisiin tekijöihin, ja yleisiä vaihtoehtoja ovat seuraavat:

- Betoninen laatta: yksinkertainen teräksinen liittolevyprofiili asennetaan betonilaatan pysyväksi muotiksi, joka parantaa lattian taivutuskestävyyttä. Betonin ja liittolevyn välinen hyvä liitos varmistetaan teräsprofiilin kohokuvioilla,
- Liittolaatta ja liittopalkit teräsprofiililla: teräsprofiili asennetaan liittolaatan pysyväksi muotiksi, mikä lisää palkkien taivutuskestävyyttä. Betonin ja teräspalkin välinen hyvä liitos varmistetaan teräspalkin ylälaippaan hitsatuilla terästartunnoilla,
- Esivalmistetut liittolaatat: esivalmistetut laattaelementit, joiden pituus on enintään 7 m ja leveys 1,20 m,

- Ontelolaatat: ontelolaattaelementit integroidaan yleisesti teräspalkkeihin. Ontelolaatat voidaan sijoittaa teräspalkin alalappaan tai L-muotoisiin teräsprofilleihin, jotka on hitsattu teräspalkkiin. Välipohjan levyvaikutuksen varmistamiseksi päälle asetetaan teräsbetonikerros,
- Elementtilaatta, jonka päällä työmaalla valettu pintabetoni: tavalliset laatat, joissa käytetään betonilaattojen ja työmaalla valetun betonilaatan yhdistelmää. Työmaalla valamisen aikana voi olla tarpeen käyttää väliaikaisia tukia elementtilaatan, betonin ja rakennustyöntekijöiden yhteispainon vuoksi. Sisällyttämällä laatan ja tukipalkkien väliin hitsatut tartunnat, laatta voi parantaa palkkien taivutuskestävyyttä ja jäykkyyttä,
- Kuivat lattiat: lattia, joka on valmistettu kootuista yksittäisistä komponenteista, kuten kipsilevystä, puulevystä, profiloidusta teräslevystä ja mineraalivillasta. Profiloitu teräslevy tarjoaa ratkaisun talotekniikan yhdistämiseen.

2.2.4 Julkisivujärjestelmät

Tyypilliset monikerroksisten rakennusten julkisivujärjestelmät ovat seuraavat:

- Tiiliverhous: Kolmikerroksisiin rakennuksiin asti tiiliverhous voidaan tukea suoraan maahan. Korkeammat rakenteet vaativat lisätukea, joka saavutetaan tyypillisesti ruostumattomasta teräksestä valmistetuilla profiileilla, yksittäisillä kiinnikkeillä tai runkoon liitetyillä kannakkeilla,
- Lasijulkisivut: Nämä korkeammissa rakennuksissa käytettävät lasitusjärjestelmät sisältävät tyypillisesti kolminkertaiset ikkunat tai ovat kaksoisjulkisivuja. Niitä tukevat alumiiniprofiilit tai lasirivat. Kulmakiinnikkeet ovat yleisiä, ja paneelien liitoksissa on usein tiivisteet säänkestävyyttä varten. Myös teräsrunkojen ja lasilevyjen toleranssien välillä on eroja, joten liitosten on oltava säädettäviä asennuksen aikana. Lämpölaajenemista ja -supistumista voi myös esiintyä, mikä edellyttää, että tukijärjestelmä mukautuu liikkeeseen tehokkaasti,
- Lasialumiinijulkisivut (curtain walls): Näissä järjestelmissä käytetään alumiini- tai muita kevyitä paneeleja, jotka kiinnitetään teräsrakenteisiin, kiviverhouksiin tai betonielementteihin. Tämä julkisivujärjestelmä kestää oman painonsa ja siihen kohdistetut kuormat (paneeli ripustetaan yläpäästään tai tuetaan pohjaan, lattiasta) tai se voi vaatia lisätukea (tuki, joka tulee tyypillisesti pilarien muodossa, pystysuorien elementtien muodossa, jotka voivat ulottua useille kerroksille; joissakin tapauksissa vaakasuuntaisia osia, joita kutsutaan vaakakarmeiksi, voidaan käyttää pilareiden yhdistämiseen välitasoilla, mikä lisää vakautta entisestään). Jokaisessa järjestelmässä käytetään uniikkeja kiinnitysmenetelmiä, jotka on suunniteltu mahdollistamaan liikkuminen ja säätö kolmeen suuntaan. Koska nämä kiinnityskohdat yhdistävät verhouksen rakennuksen rakenteeseen, lattialaatan suunnittelu voi vaatia erilaisia ratkaisuja verhouksen aiheuttamien paikallisten voimien vastaanottamiseksi. Yleinen ratkaisu on ”lohenpyrstöliitoksen” sisällyttäminen suoraan laatan reunaan valun aikana, mikä tarjoaa turvallisen ja yhteensopivan paikan verhouskiinnikkeiden kiinnittämiseen;
- Eristetyt keramiikkalaatat tai rappausverhousjärjestelmät: nämä verhousjärjestelmät tuetaan kevyillä seinillä (eristys ja rappaus tai laatat tuetaan sekundäärisellä teräsrungolla). Laatat voivat olla yksittäisiä tai muotoon tehtyjä paneeleja. Tämä julkisivujärjestelmä mahdollistaa myös tiilen käytön ulkoverhouksena.

2.2.5 Suunnitteluoppaat monikerroksisille teräsrunkoisille rakennuksille. Lisäasiakirjat

Monikerroksisten teräsrunkoisten rakennusten (MSB) suunnitteluoppaat on laadittu Arcelor Mitalin, Peiner Trägerin ja Corusin johdolla. Teknisen sisällön on tehnyt CTICM ja SCI, jotka tekivät yhteistyötä Steel Alliancena. Tämä on saatavilla osoitteessa https://constructalia.arcelormittal.com/en/news_center/articles/design_guides_steel_buildings_in_europe [41]. Siihen kuuluvat:

- Multi-storey steel buildings - Part 1: Architect's guide;
- Multi-storey steel buildings - Part 2: Concept design;
- Multi-storey steel buildings - Part 3: Actions;
- Multi-storey steel buildings - Part 4: Detailed design;
- Multi-storey steel buildings - Part 5: Joint design;
- Multi-storey steel buildings - Part 6: Fire engineering;
- Multi-storey steel buildings - Part 7: Model construction specifications;
- Multi-storey steel buildings - Part 8: Description of member resistance calculator;
- Multi-storey steel buildings - Part 9: Description of simple connection resistance calculator;
- Multi-storey steel buildings - Part 10: Guidance to developers of software for the design of composite beams.

Muita asiaankuuluvia monikerroksisten teräsrakennusten suunnitteluoppaita löytyy osoitteesta <https://steelconstruction.info/> [44]. Nämä ovat:

- SCI P332: Steel in Multi-storey residential buildings. The Steel Construction Institute, 2004;
- SCI P362: Concise Eurocode for design of steel buildings. The Steel Construction Institute, 2009;
- SCI P365: Steel building design: Medium rise braced frames. The Steel Construction Institute, 2009;
- BSCA 35/03: Steel buildings. The British Construction Steel Association, 2003;
- SCI P300: Composite slabs and beams using steel decking: Good practice for design and construction, (3rd Edition), The Steel Construction Institute and The Metal Cladding & Roofing Association, 2023;
- SCI P355: Design of composite beams with large web openings. The Steel Construction Institute, 2011;
- SCI P354: Design of floors for vibrations- A new approach. The Steel Construction Institute, 2009;
- SCI P166: Design of steel framed buildings for service integration. The Steel Construction Institute, 1992;
- SCI P416: The design of cast-in plates. The Steel Construction Institute, 2017;
- SCI P101: Interfaces - Steel supported glazing systems. The Steel Construction Institute, 1997;
- Best Practice in Steel Construction: Commercial Buildings. The Steel Construction Institute, 2008;
- Target Zero - Guidance on the design and construction of sustainable, low carbon office buildings. Tata Steel and BCSA, 2012.
- Scheme Development: Coordination of structural and architectural design for multi-storey buildings with steel frames, SS001a-EN-EU. Access Steel;

- Scheme Development: Composite slabs for multi-storey buildings for commercial and residential use, SS010a-EN-EU. Access Steel;
- Scheme Development: Integrated beams for multi-storey buildings for commercial and residential use, SS013a-EN-EU. Access Steel.

Tämä luettelo ei ole tyhjentävä, ja myös tiettyjä maita tai tuotteita koskevia lisäasiakirjoja voidaan soveltaa.

3 TERÄKSEN UUELLEENKÄYTÖN LUOKITUS

3.1 Rakenneteräskomponenttien elinkaaren vaiheet

Rakennuksen tai tuotteen elinkaari voidaan jakaa useisiin vaiheisiin (kutsutaan moduuleiksi) CEN/TC 350 -standardien mukaisesti elinkaariarviointia (elinkaariarviointi) ja elinkaarikustannusten arviointia varten [45]-[47] (katso Kuva. 3.1):

A: Tuotevaihe ja rakentaminen

- A₁: Raaka-aineen hankinta
- A₂: Kuljetus valmistukseen
- A₃: Tuotteen valmistus
- A₄: Kuljetus työmaalle
- A₅: Työmaatoiminnot

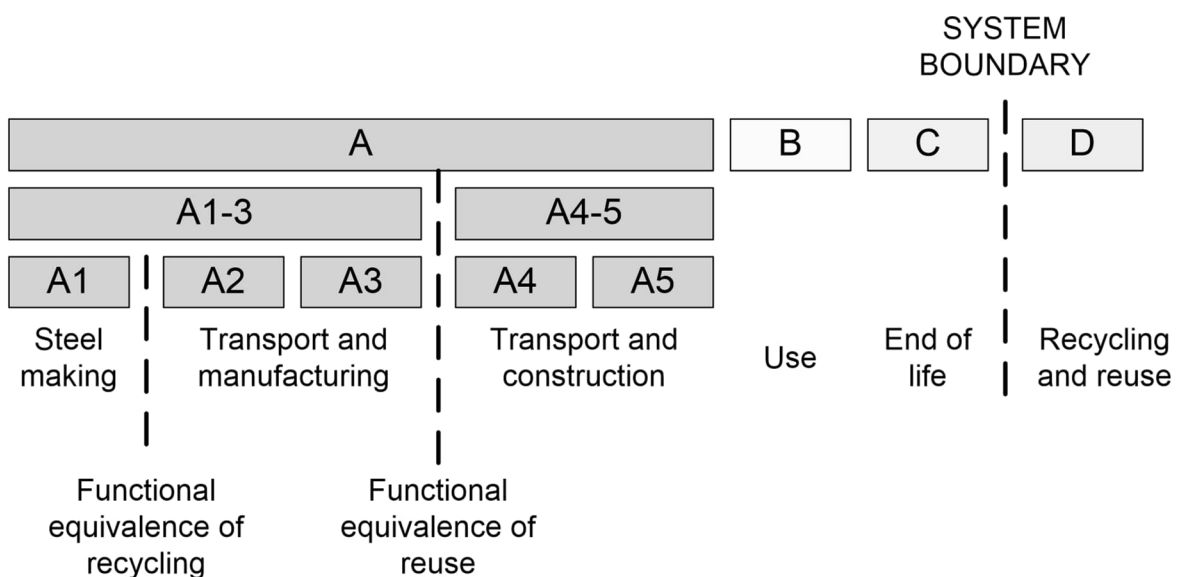
B: Käyttövaihe

- B₁: Tuotteen käyttö rakennuksessa
- B₂: Kunnossapito
- B₃: Korjaus
- B₄: Osien vaihto
- B₅: Laajamittaiset korjaukset

C: Purkuvaihe

- C₁: Purkaminen
- C₂: Kuljetus
- C₃: Purkujätteen käsittely
- C₄: Purkujätteen loppusijoitus

D: Uudelleenkäyttö- ja kierrätyspotentiaali

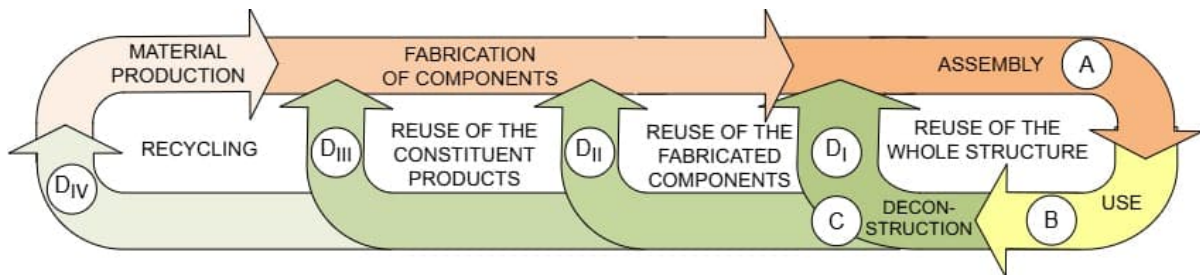


Kuva. 3.1 Teräksisten komponenttien elinkaaren vaiheet

3.2 Uudelleenkäyttöskenaariot

Kuten kuvassa Kuva 3.2, voidaan tunnistaa useita perustapauksia, joissa komponentteja käytetään uudelleen purkamisen asteen mukaan:

- D0: Koko teräsrakenteen tai sen osan (esim. kehäväljen) uudelleenkäyttö paikan päällä,
- D1: Puretun teräsrakenteen uudelleenkäyttö (voi sisältää rakennuksen kuorirakenteet),
- DII: Komponenttien (esim. sandwich-paneelit, pilarit) uudelleenkäyttö,
- DIII: Rakenneosien (esim. pilarit, palkit, levyt) uudelleenkäyttö.



Kuva 3.2 Arvoketjun uudelleenkäyttöskenaariot

Purkamisen ja kuljetuksen näkökulmasta voi olla olemassa useita skenaarioita:

- DA: Paikan päällä tapahtuva uudelleenkäyttö ilman purkamista,
- DB: Uudelleenkäyttö samassa paikassa samassa kokoonpanossa,
- DC: Uudelleenkäyttö samassa paikassa eri kokoonpanossa,
- DD: Uudelleenkäyttö eri sijainnissa samassa kokoonpanossa,
- DE: Uudelleenkäyttö eri sijainnissa eri kokoonpanossa.

Tämä prosessi selitetään Taulukko 3.1 tämän luokituksen kannalta.

Taulukko 3.1 Uudelleenkäyttötapausten luokittelu

Tapaus	Paikan päällä uudelleenkäyttö	Uudelleenkäyttö eri sijainnissa			
		Sama sijainti		Eri sijainti	
		Sama kokoonpano	Erilainen kokoonpano	Sama kokoonpano	Erilainen kokoonpano
Koko teräsrunko	D0-A	- ^a	-	D0-DB	-
Puretut teräsrakenteet	-	D1-B	D1-C	D1-D	D1-E
Komponentit	-	DII-B	DII-C	DII-D	DII-E
Rakenneosat	-	DIII-B	DIII-C	DIII-D	DIII-E

^a Tämä skenaario on epätodennäköinen, koska jos rakennelma purettaisiin, on epätodennäköistä, että se pystytettäisiin uudelleen samassa kokoonpanossa samalle paikalle.

^b Vain yksikerroksiset teräsrakennukset.

Paikan päällä tapahtuvassa uudelleenkäytössä (DA) komponentteja ei pureta ja ne pysyvät liitettynä teräsrakenteeseen. Tämä lähestymistapa, jota yleisesti kutsutaan jälkiasennukseksi, sisältää olemassa olevan rakenteen säilyttämisen, joka voidaan korjata, vahvistaa tai pinnoittaa purkamisen ja vaihtamisen erilaisiin kuormitusolosuhteisiin. Rakenteellinen kestävyys ja huollettavuus on todennettava voimassa olevien määräysten mukaisesti. Nämä suositukset eivät kata tätä erityistapausta.

Siirretty uudelleenkäyttö (DB to DE) tarkoittaa, että komponentit irrotetaan ja kunnostetaan rakennustyömaalla tai työpajassa. Monissa tapauksissa rakennusta uudelleenkäytetään, ja voi olla hyödyllistä harkita edellisen rakennuksen teräsosien integrointia uuteen hankkeeseen (DB ja DC).

Uudelleenkäyttö toiseen sijaintiin (DD ja DE) voidaan järjestää materiaalin myyjän kautta (jos kyseessä on suurempi määrä pieniä komponentteja) tai siitä voidaan neuvotella suoraan purku- ja uudisrakentamiseen osapuolien välillä. Joissakin pienimuotoisissa rakenteissa, esimerkiksi modulaarisissa rakenteissa, rakennusta tai sen pääkomponentteja on mahdollista siirtää ilman purkamista (D0) nosturin tai tela-alustaisten ajoneuvojen avulla.

Eri kuljetustarpeita koskevat vaihtoehdot on esitetty Taulukko 3.1, jossa indeksi "A" tarkoittaa, että uudelleenkäyttö tapahtuu samalla rakennustyömaalla, ja "B" tarkoittaa, että komponentit on kuljetettava (esim. toimipaikkojen välillä, jälleenmyyjälle, varastoon tai jälleenkäsittelypaikkaan).

Julkisivu on monimutkaisempi rakenneosa, jota voidaan käyttää uudelleen. Jos kyseessä on paikallarakennettu profiili-orso-profiili-järjestelmä, on kiinnitettävä huomiota kaikkiin kerroksiin. Sandwich-paneeleja voidaan käyttää uudelleen, jos ruuvireiät ovat piilossa tai niitä käytetään uudelleen toisella käyttökerralla. Pinnoitteiden säilyttäminen alkuperäisen kaltaisena on haastavampaa, varsinkin jos se johtuu pitkäaikaisesta säille altistumisesta.

4 MENETTELYOHJEIDEN JA TUOTESTANDARDIEN HISTORIAALLINEN KATSAUS

Rakenneteräksen historian tuntemus on tärkeää, jos teräsosien ja muiden teräskomponenttien uudelleenkäyttö halutaan ottaa laajalti käyttöön. 1970-luvulla, jota pidetään lähtökohtana mahdolliselle teräksen uudelleenkäytölle tämän asiakirjan puitteissa, vaadittiin yksityiskohtaisia kuvauksia teräsosien kemiallisesta koostumuksesta, fysikaalisista ja mekaanisista ominaisuuksista maakohtaisten standardien täyttämiseksi. Tämä käy ilmi Kuva. 4.1 kuumavalssatuille rakenneteräsosille.

Euroopan kansalliset standardointijärjestöt perustivat vuonna 1961 *Euroopan standardointikomitean (Comité Européen de Normalisation, CEN)* laatimaan ja panemaan täytäntöön yhteisiä eurooppalaisia standardeja. Hyväksytyt standardit pannaan täytäntöön kansallisina standardeina kussakin CEN:in jäsenmaassa, ja kaikki ristiriidassa olevat kansalliset standardit on peruutettu.

Tässä julkaisussa lähtökohtana on, että teräsrakenne, joka uudelleenkäytetään, on alun perin suunniteltu ja määritelty Kuva. 4.1 tai EN 1993. Suunnittelu perustui murtorajatilan periaatteisiin siten, että kunkin rajatilan saavuttamisen todennäköisyys on jokseenkin vakio kaikille rakenteen jäsenille ja on myös hyväksyttävällä alhaisella tasolla.

4.1 Kuumavalssatut rakenneteräkset

4.1.1 Tuotestandardit

Terästuotteiden nimitys standardissa EN 1993 on standardin EN 10025-2:2019 mukainen [21]. Kuva. 4.1 esitetään luettelo vastaavista aikaisemmista kansallisista nimityksistä ja entisistä nimityksistä standardeissa EN 10025:1990 ja EN 10025:1990+A1:1993, jotka korvattiin vuoden 2004 painoksella ja myöhemmin vuoden 2019 painoksella. Rakenneteräksen materiaaliominaisuudet on määritelty standardin EN 1993-1-1 lausekkeessa 5.2.5, eivätkä nämä ominaisuudet heikkene ajan myötä, eli kaikkien teräslaatuojen elastisuusmoduuli on $E = 210000 \text{ N/mm}^2$, Poissonin suhde $\nu = 0.3$ ja lineaarisen lämpölaajenemiskertoimen $\alpha = 12 \times 10^{-6}$ per °C.

Rakenneteräs määritellään sen myötörajan mukaan (N/mm² tai MPa), ja teräksen lopullisen lujuuden ja myötörajan välillä tulee olla riittävä marginaali, jotta plastisuus ja sisäisten voimien uudelleenjakautuminen rakenteen sisällä on mahdollista. Yleisiä teräslaatuja ovat S235 (oletusarvoinen vähimmäisarvo suunnittelukaavojen suunnittelussa ja kehittämisessä eurokoodeissa), S275 ja S355 teräs.

Nykyaikaiset rakenneteräkset sisältävät pieniä määriä hiiltä, tyypillisesti 0,17 % S235:lle ja 0,24 % S355:lle (JR-alaladuissa). Niiden suurempi lujuus saavutetaan seoksilla, kuten mangaanilla, nikkeliä ja niobiumilla, jotka voivat vaikuttaa muihin mekaanisiin ominaisuuksiin, kuten sitkeyteen, sitkeyteen ja hitsattavuuteen. Sitkeyttä voidaan parantaa vähentämällä rikki- ja fosforipitoisuuksia ja sitkeyttä lisäämällä nikkeliä.

Kemialliset ja mekaaniset ominaisuudet kirjataan testitodistuksiin osana teräksen valmistajan normaaleja laadunvalvontamenettelyjä ja terästuotteiden valmistusspesifikaatioiden mukaisesti. Tuotespesifikaatiot ovat joukko vaatimuksia, jotka on täytettävä, eivätkä ne ole merkki tietyille terästyypille.

		Austria	Belgium	Finland	France	Germany	Italy	The Netherlands	Norway	Portugal	Romania	Spain	Sweden	UK
Product Standards: Equivalent former designations corresponding to EN 10025-2														
EN 10025-2:2004	EN 10025:1990 +A1:1993	M 3116	NBN A 21-101	SFS 200	NFA 35-501	DIN 17100	UNI 7070	Euronorm 25-72	DIN 17100	NP.1729	STAS 5002-76	UNE 36-080	SS followed by number steel grade	BS 4360
	S235JR	AE 235-B	Fe 37 B	E 24-2	SI 37-2	Fe 360 B	Fe 310	SI 37-2	Fe 360-B	Fe 360-B	OL37-1/1a/1b	AE 235 B-FU	13 11-00	
S235J0	AE 235-C	Fe 37 C	E 24-3	SI 37-2	SI 37-2	Fe 360 C	Fe 360 A	RSI 37-2	Fe 360-BFU	Fe 430-B	OL37-2	AE 235 B-FN	40 B	
S235J2	AE 235-D	Fe 37 D	E 24-4	SI 37-3 U	SI 37-3 U	Fe 360 D	Fe 360 BFN	SI 37-3 U	Fe 360-BFN	Fe 430-C	OL37-3k/3kf	AE 235 C	40 C	
S275JR	AE 255-B	Fe 44 B	E 28-2	SI 44-2	SI 44-2	Fe 430 B	Fe 430 A	SI 44-2	Fe 430-B	Fe 430-D	OL44-2k	AE 275 B	43 B	
S275J0	AE 255-C	Fe 44 C	E 28-3	SI 44-3 U	SI 44-3 U	Fe 430 C	Fe 430 BFN	SI 44-3 U	Fe 430-C	Fe 430-D	OL44-3k/3kf	AE 275 C	43 C	
S275J2	AE 255-D	Fe 44 D	E 28-4	SI 44-3 N	SI 44-3 N	Fe 430 D	Fe 430 CFN	SI 44-3 N	Fe 430-D	Fe 430-D	OL44-4kf	AE 275 D	43 D	
S355JR	AE 355-B	Fe 52 C	E 36-2	SI 52-3 U	SI 52-3 U	Fe 510 B	Fe 510 BFN	SI 52-3 U	Fe 510-B	Fe 510-DD	OL52-2k	AE 355 B	50 B	
S355J0	AE 355-C	Fe 52 D	E 36-3	SI 52-3 N	SI 52-3 N	Fe 510 C	Fe 510 CFN	SI 52-3 N	Fe 510-C	Fe 510-DD	OL52-3k/3kf	AE 355 C	50 C	
S355J2	AE 355-DD	Fe 52 DD	E 36-4	SI 52-3 N	SI 52-3 N	Fe 510 D	Fe 510 DFN	SI 52-3 N	Fe 510-D	Fe 510-DD	OL52-4kf	AE 355 D	50 D	
S355K2	AE 355-DD	Fe 510 DD2	E 36-4	SI 52-3 N	SI 52-3 N	Fe 510 DD	Fe 510 DDFN	SI 52-3 N	Fe 510-DD	Fe 510-DD	OL52-4kf	AE 355 D	50 DD	
Codes of Practice for the Design of Steel Structures: Equivalent former designations corresponding to EN 1993														
EN 1993:2005	ENV 1993-1-1:1992	ÖNORM B 4300	NBN 212:1970 and NBN E 27-071:1987	Rakennus-määräys-kokoukma B7	Règles CM66	DIN 1880		NEN 6770, part 2 (1997-2012)	NS 3472: 1984	REAE, Decreto n.º 46160	STAS101080-78	NBE MV 10X and 11X series (before 1996)	BSK 99 Handbooks SIBK-NX, X = 1, 2, 3, 4 .5	BS 5950 (after 1985)
								NEN 6770, part 1 (1990-1997)	NS 3472: 2001			NBE EA-95 (after 1996)		BS 449 (before 1985)

Kuva. 4.1 Kansalliset tuotteet ja rakennesuunnittelustandardit ennen vuotta 2004

Laajalti käytetyt teräslaadut S235, S275 ja S355 ovat 1970-luvulta lähtien yleisten standardien mukaisia, ja niiden ominaisuudet ovat verrattavissa nykyisin yleisesti käytettyihin rakenneteräksiin. Jos kuumavalssattu tuote on merkitty toisen speksin mukaiseksi, ero voi olla vain tämän toisen speksin edellyttämässä testaustyyppissä ja -määrässä. Siksi tarkempi tarkastelu osoittaa, täyttävätkö rakenneosat käyttäjän vaatimukset.

4.1.2 Suunnittelua koskevat menettelyohjeet ja standardit

Ensimmäinen eurooppalainen teräsrakenteiden suunnittelustandardi julkaistiin vuonna 1992 esistandardina ENV 1993-1-1 [48]. Sen oli tarkoitus muodostaa puitteet rakennustuotteiden yhdenmukaistettujen teknisten eritelmien laatimiselle Euroopan eri maissa. Näitä suunnittelustandardeja käytettiin yhdessä rakennuksen sijaintimaassa voimassa olevan kansallisen hakemusasiakirjan (NAD) kanssa. Myöhemmin tämä ENV muutettiin eurooppalaiseksi standardiksi (EN), EN 1993 tai Eurocode 3, ja NAD:eista tuli kansallisia liitteitä (NA). Vuosina 2005–2010 eurokoodeja on sovellettu laajalti kaikissa Euroopan maissa, ja ne ovat yleensä korvanneet kaikki kansalliset rakennesuunnittelustandardit (ks. Kuva. 4.1). Eurokoodit tarjoavat myös keinon varmistaa yleinen turvallisuus kaikkialla EU:ssa.

Toinen tärkeä osa Eurocode 3:ta on tapa, jolla se on integroitu tuotestandardeihin, jotta CE-merkintä tukee rakennustuoteasetusta (CPR) [49].

4.2 Kylmämuovattut rakenneteräkset

Euroopassa ECCS-komitea TC7 laati alun perin eurooppalaiset suositukset ohuiden teräsosien suunnittelusta vuonna 1987 [51], jota seurasi ENV 1993-1-3:1996 [52]. Tätä suositusta kehitettiin edelleen ja se julkaistiin vuonna 2006 eurooppalaisena Eurocode 3 -standardina: *Eurokoodi 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-3: Yleiset säännöt. Lisäsäännöt kylmämuovatuille sauvoille ja levyille* [16]. EN 1993-1-3:2006 edustaa kylmämuovattujen teräksen suunnittelua koskevaa yhtenäistä eurooppalaista säännöstöä, ja se sisältää erityisiä määräyksiä rakenteellisista sovelluksista, joissa käytetään kylmämuovattuja terästuotteita, jotka on valmistettu päällystetystä tai päällystämättömästä ohutlevy kuuma- tai kylmävalssatusta levystä ja nauhasta. Se on tarkoitettu käytettäväksi rakennusten tai maa- ja vesirakennustöiden suunnitteluun standardien EN 1993-1-1 ja EN 1993-1-5 mukaisesti. EN 1993-1-3 sallii vain suunnittelun rajatilamenetelmällä (LSD).

EN1993-1-3 sisältää luvussa 10 suunnittelukriteerit seuraaville sovelluksille:

- Palkit, jotka on tuettu profiileilla;
- Kantavat kasetit, jotka on tuettu profiileilla;
- Levyvaikutus.
- Rei'itetyt profiilit.

Kylmävalssausstekniikka mahdollistaa räätälöityjen poikkileikkaukseenpanojen valmistuksen. Erikoisten osien analysointi ja rakenteellinen suunnittelu voi kuitenkin olla monimutkaista. Toisiinsa kytkettyjen erilaisten kylmämuovattujen osien muodostamat rakennejärjestelmät (esim. orret ja profiilit) voivat myös johtaa monimutkaisiin suunnittelutilanteisiin, joita suunnittelukoodit eivät täysin kata. Numeerinen FEM-analyysi on aina vaihtoehto suunnittelulle, mutta monissa käytännön tilanteissa mallintaminen voi olla monimutkaista. Tällaisissa monimutkaisissa suunnitteluongelmissa nykyaikaiset

suunnittelukoodit mahdollistavat testausmenetelmien käytön rakenteellisen suorituskyvyn arvioimiseksi. Testauksella voidaan korvata laskentaan perustuva suunnittelu tai sitä voidaan käyttää yhdessä laskelmien kanssa. Vain akkreditoituneet laboratoriot voivat suorittaa tällaisia testejä ja tuottaa asiaankuuluvan todistuksen.

5 UDELLEENKÄYTETTÄVYYDEN ARVIOINTI

Useimpien rakenneosien, kokoonpanojen tai rakennetuotteiden uudelleenkäytettävyys voidaan arvioida jo purkamista edeltävässä auditoinnissa. Tämä vaikuttaa suuresti purkamisen suunnitteluun, mukaan lukien työmaalla käytettävät työkalut ja tekniikat. Auditoinnin yleiset säännöt on esitetty EU:n uudessa rakennus- ja purkujätteen käsittely taulukkokirjassa, mukaan lukien ohjeet rakennustöiden purkamista edeltäville ja peruskorjausta edeltäville auditoinneille [50] ja tarkempia ohjeita rakenteiden teräsrakenteista on PROGRESS-hankkeessa (3 luku [42]).

5.1 Uudelleenkäytettävyyteen vaikuttavat parametrit

Uudelleenkäyttöä varten tarkoitettua rakenneterästä arvioitaessa on tärkeää, että se ei saa heikentyä, kun se poistetaan aiemmasta käytöstään. Siksi rakenneosissa ei saa olla merkittäviä puutteita tai pysyviä muodonmuutoksia, eikä niissä saa olla paikallisia vaurioita, mukaan lukien plastisia muodonmuutoksia ja muuttuneita poikkileikkauksia (esim. reikien, aukkojen, halkeamien tai liiallisen korroosion läpi), eikä niitä saa olla altistettu äärimmäisille tapahtumille, kuten iskuille tai väsymiselle, tai tulipalolle.

Heikkeneminen tarkoittaa materiaalin ominaisuuksien ja/tai koon pienenemistä altistumisolosuhteiden vuoksi. Esimerkiksi teräsosa voi kärsiä korroosiosta epäsuotuisissa altistusolosuhteissa, mikä heikentää sen geometrisia ominaisuuksia. Poikkeama on rakenteellisen kapasiteetin heikkeneminen tapauksissa, joissa kuormitukset ovat ylittäneet rakenteellisen kapasiteetin, tai paikallisen iskun, porauksen tai hitsauksen vuoksi rakenteellisiin ominaisuuksiin. Vaurio on seurausta äärimmäisistä kuormituksista, joita ei ole kohtuudella voitu ennakoida tai suunnitella, esimerkiksi äärimmäinen seisminen kuormitus, törmäys (esim. ajoneuvosta), tai räjähdys.

Teräksessä ei tapahdu suuria muutoksia ikääntymisen vuoksi, lukuun ottamatta pinnan ruostumista ja joustamattomien muodonmuutosten mahdollista vaikutusta. Korroosiota voidaan ehkäistä asianmukaisella suojauksella, joka sisältää maalausjärjestelmien tai metallipinnoitteiden levittämisen ruiskutuksella tai sinkityksellä.

Materiaalin vanheneminen on pääasiassa mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien asteittaista heikkenemistä (ajan tai käytön vuoksi). Vanheneminen on kahta perustyyppiä: lämpövanheneminen johdosta tapahtuva haurastuminen ja rasitusvanheneminen. Lämpövanheneminen edustaa prosessia, jossa materiaalin ominaisuudet muuttuvat, koska ylikyllästetty kiinteä ferriittiliuos hajoaa pitkän ajan kuluessa ilman ulkoista mekaanista kuormitusta. Tämä voi tapahtua erityisesti vähähiilisessä teräksessä (0,2 % hiiltä), ja se johtaa vähitellen materiaalin iskusitkeyden ja murtolujuuden vähenemiseen, lisääntyneeseen siirtymälämpötilaan sekä iskusitkeyden ala- ja ylärajan nousuun. Kylmävanhenemisella tarkoitetaan prosessia, joka koostuu materiaalin ominaisuuksien muutoksista plastisen muodonmuutoksen jälkeen ja/tai sen aikana.

Muodonmuutosvanhenemista on kahdenlaisia: staattinen vanheneminen, esim. perustusten painuma, jossa materiaalin ominaisuudet muuttuvat elementtien plastisten muodonmuutosten jälkeen, ja dynaaminen vanheneminen, esimerkiksi laajamittaisten seismisten tapahtumien jälkeen, kun materiaalin ominaisuudet muuttuvat nopeasti suurten muodonmuutosten aikana. Tämä vanheneminen vaikuttaa mekaanisiin ominaisuuksiin siten, että vanhenemisen jälkeen mitattu myötöraja on usein suurempi, mutta murtuman sitkeys heikkenee. Näitä kahta ilmiötä tarkastellaan usein yhdessä, joten termiä *ikäntyminen* käytetään usein synonyymeina.

Metalliväsytys määritellään prosessiksi, jossa vauriot kasautuvat syklittäin materiaaliin, joka käy läpi vaihtelevia jännityksiä ja venymisiä. Väsymyksen merkittävä piirre on, että kuormitus ei ole tarpeeksi suuri aiheuttamaan välitöntä vikaa. Sen sijaan vika tapahtuu tietyn määrän kuormituksen vaihteluiden jälkeen, eli kun kertynyt vahinko on saavuttanut kriittisen tason. Esimerkiksi nosturipalkit ovat väsymisalttiita rakenteita.

Joissakin olosuhteissa teräs voi virua hitaiden plastisten muodonmuutosten vuoksi korkeassa lämpötilassa, tyypillisesti tulipalon aikana. Virumislujuus lämpötila-alueella, johon viruminen kohdistuu, on aina pienempi kuin materiaalin myötöraja.

5.2 Yleisnäkemykset

Kokonaisprosessi teräskomponenttien talteenotosta uudelleenkäyttöön on esitetty tiivistetysti vuokaaviossa Kuva. 5.1.

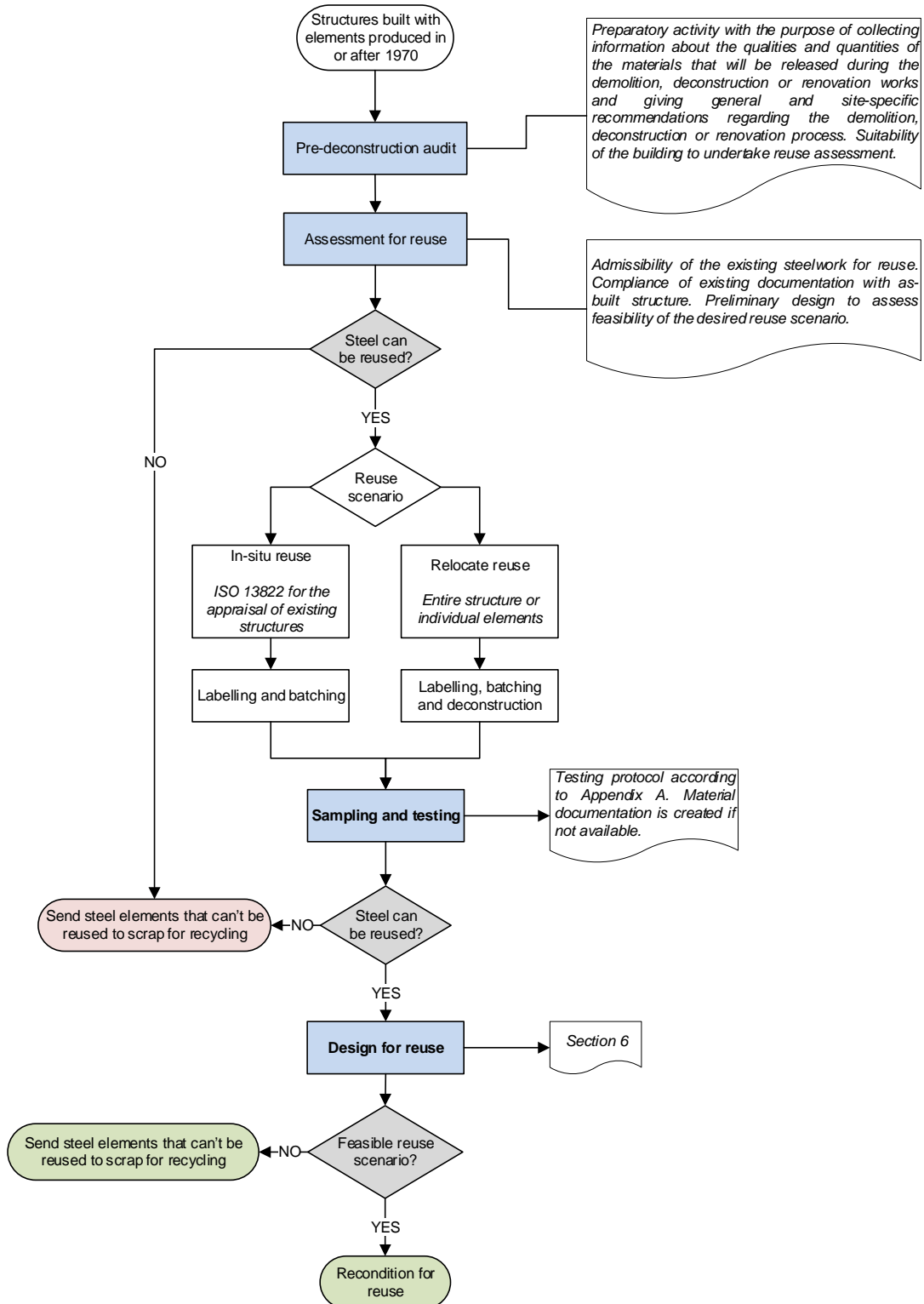
Soveltamisala on rajattu rakennuksiin, jotka on rakennettu vuoden 1970 jälkeen valmistetuista rakennusosista siten, että materiaalit ovat yleisesti ottaen nykyaikaisten tuotespesifikaatioiden ja nykyisissä standardeissa huomioon otettujen rajatilasuunnittelumenetelmien mukaisia.

Jos rakennus on käytettävissä ensisijaisen teräsrakenteen ja mahdollisesti sen toissijaisten osien ja verhouksen talteenottamista varten, ennen rakennuksen purkamista edeltävä tarkastus on suoritettava. Tämä mahdollistaa uudelleenkäytettävien rakennusosien tunnistamisen. Purkua edeltävät auditoinnit on kuvattu tämän oppaan osassa 3.

Tämän rakennuksen tarkastuksen perusteella annetaan suositus siitä, voidaanko teräskomponentteja käyttää uudelleen vai onko purku sopivampi vaihtoehto. Jos terästuotteet voidaan pelastaa, on tärkeää määritellä tuleva uudelleenkäyttöskenaario. Jos kyseessä on siirretty uudelleenkäyttö, voidaan tehdä päätös koko rakenteen tai sen yksittäisten osien mahdollisesta uudelleenkäytöstä. Ohjeita elementtien uudelleenkäytettävyyden arvioinnista annetaan jaksossa, jossa 5.1. Tämän jälkeen materiaaleista on otettava näytteitä ja tarvittaessa testattava liitteessä A olevan protokollan mukaisesti. Olemassa olevien elementtien rakenteellinen uudelleenkäytettävyys arvioidaan testitulosten perusteella.

Jos uudelleenkäyttö on toteuttamiskelpoinen vaihtoehto talteen otettujen osien mittojen, laadun ja määrän perusteella, rakenne voidaan purkaa ja kaikki elementit merkitä ja jakaa eriin. Komponentit on usein puhdistettava pinnoitteiden ja kertyneen lian poistamiseksi tai niille on tehtävä muita kunnostusprosesseja. Lopuksi suoritetaan teräsosien ja muiden

komponenttien rakennesuunnittelu ja todentaminen valitun uudelleenkäyttöskenaarion osalta (ks. kohta 6).

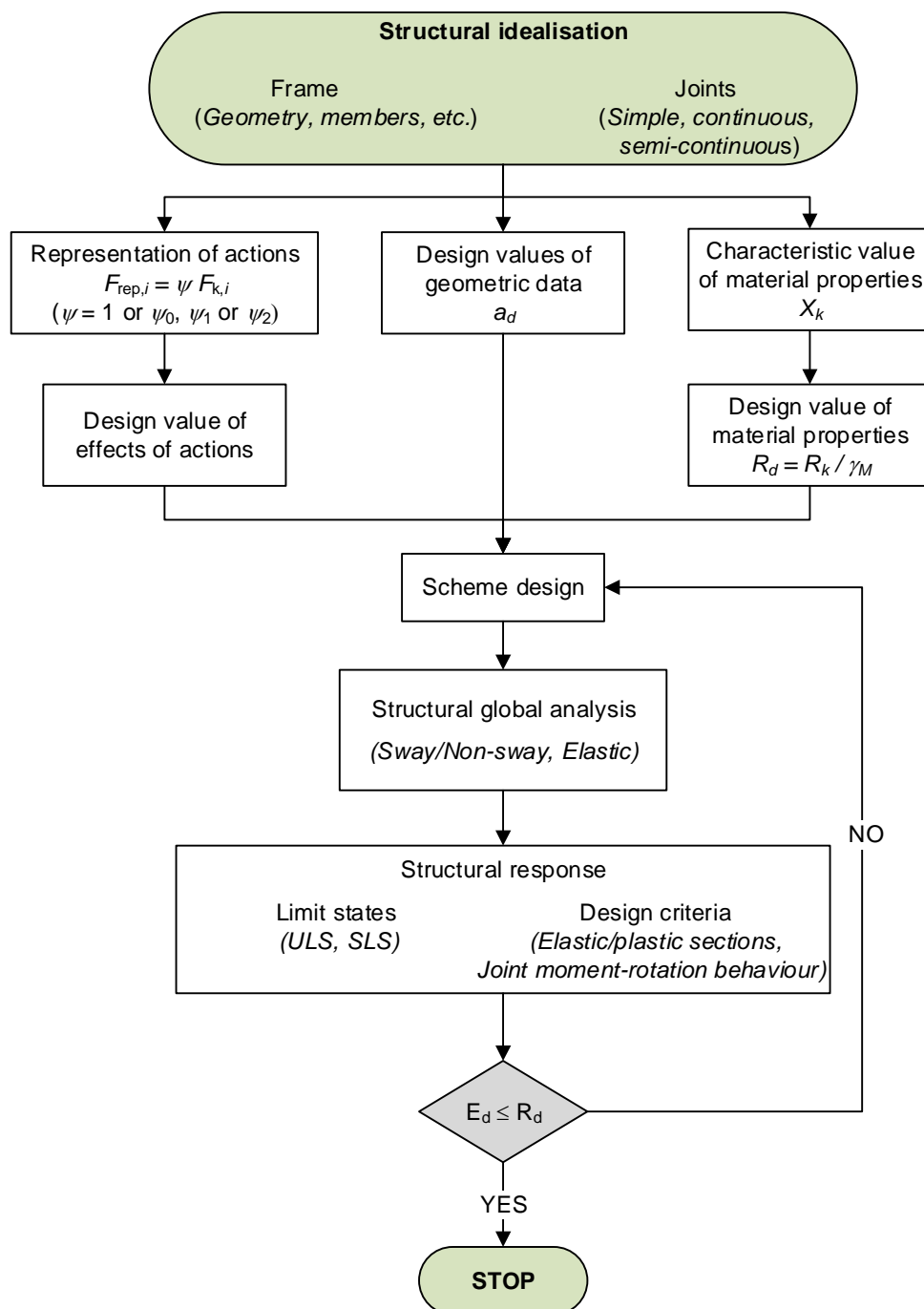


Kuva. 5.1 Kokonaisprosessi: talteenotosta teräsosien uudelleenkäyttöön ja suunnitteluun

5.3 Suunnitteluprosessi

Kierrätetyistä teräsosista valmistettujen rakenteiden suunnittelussa noudatetaan samoja rajatilasuunnittelun ja todentamisen periaatteita osavarmuuskerroinmenetelmällä kuin "uusissa rakenteissa". Asiakirjan tässä osassa on kuitenkin joitakin lisäsääntöjä ja -määräyksiä. Rakenteellisen eheyden tarkastamista koskevat erityissäännökset perustuvat rakenteellisen luotettavuuden periaatteisiin [9].

Kuva. 5.2 antaa yleiskatsauksen Eurocode-pohjaiseen suunnittelufilosofiaan.



Kuva. 5.2 Rungon suunnitteluprosessin yleiskatsaus

Suunnittelun lähestymistapa koostuu seuraavien vaiheitten mukaan rakenteen tyyppistä ja suunnittelijan sopimusroolista (tilaajan tai pääurakoitsijan puolesta):

- Suunnittelija valitsee toteuttamiskelpoisen rakenteellisen runkojärjestelmän rakennuksen tilavaatimusten perusteella;
- Kerätään asiaankuuluviin standardeihin perustuvat suunnitteluarvot ja rakennuksen geometria;
- Teräsrakenneosien materiaalilujuuksien suunnitteluarvot määritetään, katso kohta 5.4.1;
- Rakenteen konseptisuunnittelu valmistuu näiden lähtötietojen pohjalta ja asiakkaalle esitellään erilaisia vaihtoehtoja;
- Tässä vaiheessa käy selväksi, onko kierrätettyjen teräsosien mahdollinen käyttö sekä käytännöllistä että toteuttamiskelpoista.
- Rakenteen lopullinen suunnittelu suoritetaan ottaen huomioon asiakkaiden palaute ehdotetusta konseptisuunnitelmasta;
- Suunnittelija päättää, minkä tyyppistä rakenneanalyysiä käytetään. Suositus kierrätettyä terästä käytävässä suunnittelussa on kimmo-plastisen analyysin käyttöönotto;
- Rajatilan tarkastukset suoritetaan rakenteellisen vasteen määrittämiseksi. Näihin kuuluvat käyttörajatilojen (SLS) eli rungon ja palkkien taipumien tarkistaminen pysyvien kuormien osalta, ja murtorajarajatilojen (ULS) eli osien resistanssin sekä palkin ja rungon vakauden tarkistaminen;

Kun rakenne ei täytä uusia suunnitteluvaatimuksia, rakennejärjestelmää on muutettava tai vahvistettava vastaavasti.

5.4 Rakenneteräs uudelleenkäyttöön

Rakennesuunnittelussa voidaan käyttää kierrätettyä rakenneterästä standardin EN 1993 määräysten mukaisesti. Tämän suunnittelustandardin noudattamiseksi materiaalin tulee täyttää erityiset suorituskyky- ja laatuvaatimukset, jotka on kuvattu alla.

Rakenneteräksen määritelmä tarkoittaa tässä yhteydessä terästä, joka on peräisin kuumavalssatuista profiileista valmistetuista palkeista ja niiden päätyliitoksista, mukaan lukien valssatuista osista valmistetut ristikot. Valmistetut (hitsatut) osat, kuten levypalkit, voidaan sisällyttää tähän määritelmään, mutta ne on usein suunniteltu tiettyihin kuormitusolosuhteisiin hitsin koon, rainan jäykisteiden jne. suhteen, joten ne edellyttävät todentamista tiettyä uudelleenkäytöskenaariota varten. Kylmämuovatuista teräsprofiileista valmistettuja sekundääriosia voidaan myös käyttää uudelleen ilman muutoksia tai katkaistuna, vaikka niitä ei yleensä oteta huomioon rakenneteräksen määritelmässä.

CEN/TS 1090-201:2024 [2] standardissa on EN 1090-2 standardiin täydentäviä määräyksiä teräsrakenteiden valmistuksessa käytettävien uusitettujen rakenneosien arvioinnista ja testauksesta EXC3:een asti (ks. EN 1090-2). CEN/TS 1090-201:2024 -määräykset koskevat tuotteita, joita käytetään rakenteissa, joihin ei kohdistu väsymiskuormitusta. (katso EN 1993-1-1) Asiakirjassa esitetään vaatimuksia rakenneosien ja ainesosien uudelleenkäytettävyyden arvioinnille. Siihen sisältyy myös yleinen uudelleenkäytettävyyden arviointi ja laadunarviointi raaka-aineina käytettäville levyille, kuumavalssatuille profiileille ja kuuma- tai kylmämuovatuille putkiprofiileille.

Laadunarviointi sisältää mekaanisten ja geometrinen ominaisuuksien sekä hitsattavuuden määrittämisen ja ilmoittamisen. Nämä ominaisuudet on lueteltu standardin EN 1090-2 osan 5.1 mukaisesti. Kaikkien uudelleenkäytettävien tuotteiden mitat ja toleranssit dokumentoitava. Komponentti voidaan ilmoittaa viittaamalla standardiprofiiliin, jos kaikki geometriset vaatimukset täyttyvät. Mekaanisia ominaisuuksia voidaan tutkia ainetta rikkomattomalla kovuustestauksella tai ainetta rikkovalla testillä. Lopuksi teräs voidaan ilmoittaa tuotestandardissa määriteltyjen laatuojen mukaiseksi.

Asiakirja ei koske standardissa EN 1090-4 kuvattuja kylmämuovattuja rakenneteräsprofiileja ja -levyjä eikä mekaanisia kiinnikkeitä.

Asiakirjaan [53] määritellään tärkeimmät asiat harkittaessa uusien rakenteiden suunnittelua uudelleenkäytettävistä rakenneteräksistä standardin EN 1993 mukaisesti, mukaan lukien kohteen laajuus, ehdotus ja toimintasuunnitelmat. Soveltamisala kattaa kierrätettyjen teräsrakenteiden suunnittelun uudelleenkäyttöä varten (vain rakenteelliset osat). Siinä ehdotetaan myös 8-osaista prosessin loppuvaihetta, ja siinä on myös yksityiskohtaiset kuvaukset vastaavista prosessiketjun vaiheista (PC-vaiheet).

5.4.1 Kierrätettyjen teräsrakenteiden luokittelu

RFCS:n PROGRESS-hankkeessa [54] uudelleenkäytettävä teräs luokiteltiin aineellisten suorituskykyvaatimusten todentamisen (riittävyden arviointi) ja laadunvarmistusvaatimusten (luotettavuuden arviointi) perusteella seuraaviin luokkiin:

- **Luokka A:** teräsmateriaalit, jotka täyttävät suorituskykyvaatimukset ja joilla on hyväksytty laadunvarmistus alkuperäisistä sertifikaateista;
- **Luokka B:** teräsmateriaalit, jotka täyttävät kaikki suorituskykyvaatimukset kattavalla materiaalitestauksella (ks. liite A) ja joilla on hyväksytty laadunvarmistus eli sertifikaatit asiaankuuluvien eurooppalaisten tuotestandardien noudattamisesta uudelleensertifiointilla;
- **Luokka C:** teräsmateriaalit, jotka on luokiteltu konservatiivisimmaksi laaduksi rakenteen iän ja sijainnin mukaan (tunnistamaton teräs).

Riittävyysarvioinnin tarkoituksena on perustella materiaali-/tuotestandardin tai standardin EN 1090-2 lausekkeen 5.1 mukaiset välttämättömät/vaaditut materiaaliominaisuudet, kun taas luotettavuusarvioinnin tarkoituksena on perustella, että eurokoodien mukaisten suunnittelumenettelyjen luotettavuusvaatimus täyttyy.

CEN/TS 1090-201:2024 [2] ehdottaa neljää testausprotokollaa, A:sta D:hen. Vaadittua ainetta rikkovaa testausta säädetään perustuen testin aikana kerättyihin tietoihin. Alla on suosituksia tietyn protokollan valinnasta, ja ne ovat kuvattu Kuva 5.3. Sitä Teräksen alkuperä on todennäköisesti tiedossa, jos osien maantieteellinen sijainti, rakennusvuosi ja aiempi käyttötarkoitus ovat tiedossa. Mukana on kahta rakenneterästyyppeä, eli tyyppi 1 ja tyyppi 2.

Tyyppi 1 rakenneteräksen mekaanisten ominaisuuksien ja hitsattavuuden voidaan odottaa olevan samanlaisia kuin standardin EN 5.3 kohdassa lueteltujen eurooppalaisten standardien mukaisilla teräksillä. Niiden mekaanisten ominaisuuksien vaihtelun voidaan olettaa olevan standardin EN 1993-1-1 liitteen E mukaista. Vuonna 1970 tai sen jälkeen rakennetuista rakenteista talteen otettuja tuotteita pidetään "modernista" teräksestä valmistettuina eli niin sanotusta tyyppi 1 teräksestä.

Tyyppin 2 rakenneteräksen ominaisuuksien vaihtelua ei voida luotettavasti olettaa, ja olisi tehtävä lisää testejä sekä tulosten tilastollista analyysia CEN/TS 1090-201:2024:n 5.3.4.5 protokollan C mukaisesti.

Rakenneosia, joiden alkuperää ei tunneta, ei saa yhdistää muihin testiyksiköihin, ja niiden kattava testaus vaaditaan CEN/TS 1090-201:2024:n 5.3.4.6 kohdan protokollan D mukaisesti.

CEN/TS 1090-201:2024 esittelee yksityiskohtaisemman teknisen kehyksen uudelleenkäytettyjen teräsrakenteiden todentamiseen. Toisin kuin RFCS PROGRESS -projektissa [54] esitetty A/B/C-luokitusjärjestelmä, CEN/TS 1090-201:2024 määrittelee neljä testausprotokollaa (A–D), jotka valitaan teräksen alkuperän (tunnettu vs. tuntematon) ja sen luokittelun perusteella joko tyyppiin 1 (vuoden 1970 jälkeen) tai tyyppiin 2 (ennen vuotta 1970). Nämä protokollat määrittelevät testaus-, tarkastus- ja mekaanisten ominaisuuksien ilmoittamisvaatimukset standardin EN 1090-2 ja eurokoodi 3 mukaisesti. Tässä oppaassa käytetään standardissa CEN/TS 1090-201:2024 määriteltyjä testausprotokollia.

5.4.2 Materiaalien suorituskykyä koskevat vaatimukset

Teräsrakenteiden toteuttamista (eli valmistusta ja asentamista) koskeva EN 1090-2 mahdollistaa teräksen ja profiilien määrittämisen, jotka eivät kuulu eurooppalaisten standardien piiriin. Seuraavat mekaaniset ominaisuudet on määritettävä standardin EN 5.1 lausekkeen 1090-2 mukaisesti [8]:

- Lujuus, eli myötöraja, f_y ja vetolujuus, f_u ,
- Murtuman jälkeinen venymä, ϵ_t , joka antaa tietoa siitä, kuinka paljon materiaali muuttaa muotoaan,
- Lämpökäsittelyn toimitusehdot (konservatiivisesti suositellaan, että kaikkien uudelleenkäytettävien rakenneputkien oletetaan olevan kylmämuovattuja standardin SFS-EN 10219:n mukaisesti)

Teräslaadun tulee olla välillä S235 - S700. EN 1993-1-1 -standardin mukaisen suunnittelun sitkeysvaatimukset on esitetty Taulukko 5.1 (suositellut arvot, joita voidaan muuttaa kansallisten liitteiden mukaisiksi).

Taulukko 5.1 Sitkeysvaatimukset (CEN:in suositellut arvot)

	Yield ratio f_u/f_y	Elongation at failure
For plastic global analysis	$\geq 1,10$	$\geq 15 \%$
For elastic global analysis	$\geq 1,05$	$\geq 12 \%$

Standardissa EN 1090-2 todetaan myös, että seuraavien ominaisuuksien karakterisointi voi olla pakollista, vaikkakaan ei pakollista:

- Poikkileikkausalueen jännityksen vähentäminen (stress reduction of area),
- Iskunkestävyys tai sitkeys,
- Paksuussuuntaiset ominaisuudet, (Z-laatu),
- Sisäisten epäjatkuvuuksien tai halkeamien rajat hitsattavilla vyöhykkeillä.

Jos uudelleenkäytettävän teräksestä valmistetun rakenteen hitsaus on odotettavissa, kemiallinen koostumus on määritettävä hitsausmenetelmän spesifikaation laatimista varten.

Teräksen koostumuksen määrittämiseen on olemassa hyvin yksinkertaisia ainetta rikkomattomia testaustekniikoita, kuten positiivinen metallin tunnistustekniikka (katso liite A). Kemiallisen koostumuksen määrittäminen on myös tarpeen, jos koska alkuperäisiä todistuksia ei ole. Teräksen hitsattavuus on ilmoitettava seuraavasti [8]:

- luokitus standardissa CEN ISO/TR 15608 [55] määritellyn materiaalien ryhmittelyn mukaisesti[55], tai
- Hiiliekvivalentin enimmäisraja, tai
- Riittävän yksityiskohtainen ilmoitus sen kemiallisesta koostumuksesta, jotta sen hiiliekvivalentti voidaan laskea.

5.4.3 Laadunvarmistusta koskevat vaatimukset

Uudelleenkäytettävän teräksen on täytettävä tietyt laatu- ja turvallisuusvaatimukset, jotta sitä voidaan luonnehtia siten, että sitä voidaan käyttää EN 1993 -standardin mukaisessa rakennesuunnittelussa. Tärkein vastattava kysymys on "*Minkä tuotestandardin mukaan materiaali valmistettiin?*", tuotteen vaatimustenmukaisuuden, laadun ja jäljitettävyyden tarkistamiseksi.

Materiaalin jäljitettävyys on kykyä jäljittää tietyn teräsmateriaalin lähde sen alkuperäiseen identiteettiin, joka on toimitettu tehtaalta, asianmukaisen tunnistus- ja laadunvarmistusjärjestelmän avulla. Toimittajien ja valmistajien, jotka aikovat ottaa talteen rakenneteräsmateriaaleja, on luotava oma laadunvarmistusjärjestelmä näiden materiaalien jäljitettävyyden varmistamiseksi. Jokainen teräsosa on merkittävä yksilöllisellä tunnistenumeraalla, jota varten laadunvalvontatarkastukset otetaan käyttöön ja kirjataan. Tällainen yksilöllinen tunnistus helpottaa myöhempää viittaamista tehtaan sisäiseen laadunvalvontasertifikaattiin, tarkastuspöytäkirjaan ja/tai testausraporttiin.

Jos valmistajan sertifikaatteja on saatavilla, on mahdollista jäljittää uudelleenkäytettävän teräksen komponentit ja varmistaa, että ne täyttävät asiaankuuluvat materiaalivaatimukset ja -vaatimukset.

Uudet teräsmateriaalit hankitaan voimassa olevalla suoritustasoilmoituksella (DoP) ja valmistajan testitodistuksella. Materiaalin uudelleenkäyttö on sallittua, jos sen uudelleenkäytettävyys on todennettu tyydyttävästi.

5.4.4 Kuumavalssatun teräksen ilmoitettavat uudelleenkäytettävän teräksen ominaisuudet

Tässä osiossa esitetään yhteenveto teräksen ominaisuuksista, jotka on arvioitava uudelleenkäytettäville kuumavalssatuille teräsosille standardin EN 5.1 lausekkeen 1090-2 mukaisesti (mukaan lukien putkiprofiilit – Taulukko 5.2). Näistä ominaisuuksista on myös lisäkommentteja.

Lujuus

Myötöraja ja murtolujuus on määritettävä ja arvioitava Liitteen A mukaisesti. Suunnittelussa käytettävän uudelleenkäytettävän rakenneteräksen ilmoitettu myötöraja ja murtolujuus on määriteltävä vertailutuotestandardin (esim. S275) määrittelemän teräslaadun mukaisesti, joka varmistaa luotettavuusvaatimukset (ks. liite A).

Venymä

- Kierrätettyjen teräsrakenteiden käyttö rajoittuu sovelluksiin, joissa ei vaadita merkittävää sitkeyttä (esim. kimmo-plastinen analyysi, jolla ei käyttöä seismisissä järjestelmissä; DCL-suunnittelu). Venymä on kuitenkin arvioitava standardin EN 5.1 lausekkeen 1090-2 mukaisesti, joka on määritettävä ainetta rikkovalla vetotestauksella. Historiallisten tietojen perusteella ei ole huolta siitä, että vuoden 1970 jälkeen rakennetuista rakennuksista talteen otettu rakenneteräs ei täyttäisi Eurocode 3:n mukaisia suunnitteluvaatimuksia (ks. Taulukko 5.1) - [56] jotta [58]. Uudelleenkäytettävän teräksen vähimmäisvenymävaatimus on otettu Taulukko 5.1 eikä vertailutuotestandardista.

Taulukko 5.2 Standardin EN 1090-2 lausekkeen 5.1 mukaisesti ilmoitettavat materiaaliominaisuudet

Ominaisuus	Ilmoitetaan	Menettely
Lujuus (myötö- ja vetolujuus)	Kyllä	Määritetään rikkovilla ja rikkomattomilla testeillä.
Venymä	Kyllä	Määritetty tuhoavilla testeillä.
STRA	Tarvittaessa	Yleensä ei tarvitse ilmoittaa.
Mittojen ja muodon toleranssit	Kyllä	Perustuu mittatutkimukseen.
Iskunkestävyys tai sitkeys	Tarvittaessa	Tarvittaessa määritetään rikkovilla testeillä. Konservatiivinen oletus oletuksena.
Lämpökäsittelyn toimitusehto	Kyllä	Konservatiivinen oletus oletuksena.
Paksuussuuntaiset ominaisuudet, (Z-laatu	Tarvittaessa	Yleensä ei tarvitse ilmoittaa.
Sisäisten epäjatkuvuuksien tai halkeamien rajat hitsattavilla vyöhykkeillä	Tarvittaessa	Yleensä ei tarvitse ilmoittaa.
Lisäksi, jos terästä hitsataan, sen hitsattavuus on ilmoitettava seuraavasti:		
Ominaisuus	Ilmoitetaan	Menettely
luokitus standardissa CEN ISO/TR 15608 määritellyn materiaalien ryhmittelyn mukaisesti, tai	-	Ei sovelleta kierrätettyihin teräsrakenteisiin.
teräksen hiiliekvivalentin enimmäisraja, tai	Kyllä	Valmistajan testaustodistuksista ilmoitettava enimmäismäärä.
Riittävän yksityiskohtainen ilmoitus sen kemiallisesta koostumuksesta, jotta sen hiiliekvivalentti voidaan laskea	Kyllä	Määritetään ainetta ei-rikkovilla ja rikkovilla testeillä.

Mittojen ja muodon toleranssit

Uudelleenkäytetyt rakenneosat voidaan tarkistaa geometrinen toleranssien suhteen asiaankuuluvan tuotestandardin mukaisesti (katso Taulukko 5.4). Sallitun toleranssin sisällä olevat osat ovat hyväksyttäviä ja täyttävät suunnittelustandardissa esitetyt oletukset. Ei kuitenkaan ole rajoituksia käyttää mittatilaustyönä valmistettuja uudelleenkäytettyjä teräsrakenteita, toisin sanoen osia, joiden toleranssit Taulukko 5.4 eivät täyty, kunhan suunnittelussa otetaan huomioon mitatut poikkileikkausominaisuudet taulukoitujen vakiokokojen sijaan. Osan taipumien ja poikkileikkauksen epätarkkuuksien (kuten ei-neliömäisyyden tai epätasaisuuden) on silti täytettävä standardin EN 1090-2 vaatimukset.

Paksuussuuntaisten ominaisuuksien kautta

Paksuussuuntaisia ominaisuuksia ei yleensä vaadita uudelleenkäytettäville osille, kuten palkeille tai pilareille. Jotkut liitoksen yksityiskohdat/komponentit saattavat vaatia teräslevyltä erityisiä paksuussuuntaisia ominaisuuksia [62]. Jos näitä ominaisuuksia vaaditaan, uudelleenkäytettävä levy on testattava standardin EN 1993-1-10 mukaisesti [18].

Iskunkestävyys tai sitkeys

Iskunlujuutta tai sitkeyttä (tunnetaan yleisesti nimellä Charpy-arvo) saatetaan tarvita tietyssä projektissa, kuten rasittuneissa teräsrakenteissa erityisesti matalissa lämpötiloissa. Sisäpuolisille teräsrakenteille, jotka eivät ole alttiina väsymiselle, voidaan käyttää varovainen oletus materiaalin sitkeydestä, mikä tarkoittaa, että Charpyn iskusitkeyden vähimmäisarvo 27 J 20 °C:ssa voidaan olettaa, jos testejä ei suoriteta (JR-laatuiluokka) - [56] jotta [58]. Jos materiaalin sitkeys on määritettävä, tarvitaan asiaankuuluvan standardin mukaiset rikkovat testit (katso liite A).

Lämpökäsittelyn toimitusolosuhteet

Lämpökäsittelyn toimitusolosuhteet vaikuttavat esimerkiksi raekokoon, jäännösjännityksiin jne. Tämän asiakirjan soveltamisalan kannalta tällä ehdolla on vaikutuksia uudelleenkäytettäviin putkiprofiileihin. Rakenteelliset putkiprofiilit kylmämuovataan standardin EN 10219 mukaisesti tai viimeistellään standardin EN 10210 mukaisesti. Lämpökäsittelyn toimitusolosuhteet vaikuttavat onton osan jäännösjännitysten tasoon, mikä puolestaan vaikuttaa elementin nurjahdusrakenteeseen. Koska tällaisen ominaisuuden mittaaminen ei ole taloudellisesti kannattavaa, konservatiivisesti, että kaikkien kierrätettyjen onttojen profiilien oletetaan olevan kylmämuovattuja standardin EN 10219 mukaisesti.

Ilmoitus kemiallisesta koostumuksesta

Kemiallinen koostumus on välttämätön uudelleenkäytettävän rakenneteräksen kestävyys- ja hitsattavuuden määrittämiseksi. Kemiallinen koostumus on ilmoitettava perustuen testeihin (ks. lisäys A). Kemiallisessa koostumuksessa on mitattava tiettyjä kemiallisia alkuaineita asiaankuuluvan vertailutuotestandardin (EN 10025-2/3/4, lauseke 7.2 tai EN 10219-1, lauseke 6.6) mukaisesti, josta voidaan laskea hiilekviivalenttisarvo (CEV).

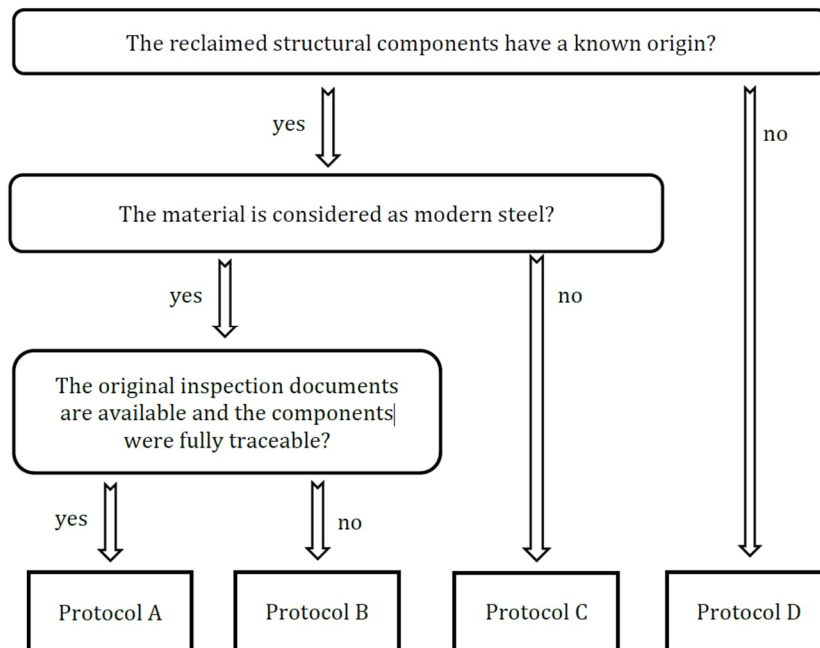
5.4.5 Materiaaliominaisuuksien arviointi

Yleensä uudelleenkäytettävän teräksen luotettavuus arvioidaan. Terästä arvioitaessa materiaalin todellisia ominaisuuksia on arvioitava materiaalin suorituskykyvaatimusten perusteella. Jos tällaisia todistuksia ei ole, materiaalitestaus on suoritettava käyttäen asianmukaisia näytteenotto- ja testausmenetelmiä materiaalin luotettavuuden osoittamiseksi. Luotettavuuden arvioinnin tarkoituksena on varmistaa, että terästuotteet valmistetaan tiukan laadunvarmistusjärjestelmien mukaisesti ja että ne täyttävät laadunvarmistusvaatimukset.

Materiaalit, jotka liittyvät selvästi toisiinsa voidaan luokitella näiden arviointien päätyttyä, edellä ehdotetun järjestelmän ja kuvassa 5.3. esitetyn vuokaavion mukaisesti. Luokitus on tarpeen, jotta voidaan määrittää, voidaanko uudelleenkäytettävää terästä sallia EN 1993 -standardin mukaiseen rakenteelliseen käyttöön rajoituksin tai ilman.

Neljä protokollaa [2], A–D, on määritelty materiaalin ominaisuuksien arviointia varten:

- **Protokolla A:** Asiakirjat saatavilla (tyypin 1 rakenneteräs alkuperäisillä tarkastusasiakirjoilla);
- **Protokolla B:** Yksittäinen näyte (tyypin 1 rakenneteräs, jonka alkuperä tunnetaan);
- **Protokolla C:** Tilastollisesti edustava (tyypin 2 rakenneteräs, jonka alkuperä tunnetaan);
- **Protokolla D:** Kattava (rakenneteräs, jonka alkuperää ei tunneta).



Kuva. 5.3 Vuokaavio testausprotokollan valintaa varten [2]

Protokolla A: Saatavilla olevat asiakirjat (tyypin 1 rakenneteräs alkuperäisine tarkastusasiakirjoineen) kattaa tuotteet, jotka ovat jäljitettävissä ja joista on saatavilla alkuperäiset asiakirjat. Taulukkokirjan A mukaan teräsmateriaali voidaan suunnitella EN 1993 -standardin mukaisesti, koska asianmukainen luotettavuuden arviointi on perusteltua olemassa olevan dokumentaation perusteella. Esimerkkejä A-luokkaan luokitelluista teräsrakenteista ovat peruutetusta hankkeesta talteen otettu teräsrakenteet (joita ei ole koskaan pystytetty) tai eri lähteistä talteen otettu teräsrakenteet, joista on saatavilla asiakirjoja. Luokan A teräksen valinnaista vähimmäistestausmenettelyä voidaan käyttää uudelleenkäytettävän teräksen laadun vahvistamiseen.

Protokolla B: Yksittäinen näyte (tyypin 1 rakenneteräs, jonka alkuperä tunnetaan). Tärkeä ero tehdään arvioitavan materiaalin iän suhteen. Äskettäin valmistetuilla komponenteilla on ominaisuuksia, mukaan lukien niiden vaihtelu, jotka vastaavat suunnittelussa oletettuja nykyisiä teräslaatuja. Ne voidaan arvioida yhden testin perusteella (protokolla B). Kun protokollaa B sovelletaan, kelpollisen testiyksikön kaikille osille määritetyt ominaisuudet voidaan ilmoittaa viittauksena teräslaatuun. Yllä olevat myötörajoja ja murtolujuutta koskevat vaatimukset edustavat 95 %:n fraktiileja standardin EN 1993-1-1 liitteessä E annettujen keskiarvojen ja varianssien perusteella.

Vaihtoehtoisesti myötörajat ja vetolujuus voidaan ilmoittaa viittaamalla vastaavaan teräslaatuun, jonka mitattu myötöraja ja vetolujuus täyttävät Taulukko 5.3.arvot.

Taulukko 5.3 Pienin myötöraja ja murtolujuus yhden näytteen testauksessa vastaaville teräslajeille

Vastaava teräslaatu	$R_{eh} \geq$ (MPa)	$R_m \geq$ (MPa)
S235	267	397
S275	313	452
S355	391	505
S420	463	559
S460	490	560

Taulukossa 1 esitetty vähimmäismyötöraja ja murtolujuus ovat 5 %:n fraktiileja, olettaen, että materiaalin ominaisuudet ovat standardin EN 1993-1-1:2022 liitteen E mukaisia.

Protokolla C: Tilastollisesti edustava (tyypin 2 rakenneteräs, jonka alkuperä tunnetaan). Protokollaa C sovellettaessa kelvollisen testiyksikön kaikille jäsenille määritetyt ominaisuudet voivat perustua standardin EN 1990 mukaiseen tilastolliseen analyysiin.

Protokollien B ja C osalta materiaalin osoitetaan täyttävän suorituskäytännön vaatimukset kattavalla materiaalitestauksella (ks. liite A). Testausmenettely koostuu ei-rikkovien ja rikkovien testien yhdistelmästä, esimerkiksi EN ISO 6892-1 -standardin mukaisesti, sekä geometristen toleranssien tarkastuksesta.

Protokolla D: Kattava (rakenneteräs, jonka alkuperää ei tunneta). Jos uudelleenkäytettävien tuotteiden alkuperä ei ole tiedossa, testiyksikköön ei ole mahdollista koota useita komponentteja ja antaa niille yhteisiä ominaisuuksia. Tässä tapauksessa protokolla D edellyttää, että komponentit testataan yksitellen ainetta rikkovilla menetelmillä. Testituloksia voidaan sitten käyttää suoraan ominaisarvoina tai verrata asiaankuuluvan tuotestandardin nimellisarvoihin. Kun uudelleenkäytettävien tuotteiden alkuperä on tiedossa, komponentit voidaan lajitella testiyksiköihin ja rikkomaton kovuustestaus suoritetaan kaikille testiyksikön jäsenille, jotta jäsenet voidaan valita turvallisesti rikkovaan testaukseen.

Vaihtoehtoisesti, jo teräs jää tunnistamattomaksi eikä siinä ole vahingollisia vikoja, sitä voidaan sallia käyttää muissa kuin turvallisuuden kannalta kriittisissä rakenteissa, kuten maatalousrakennuksissa. Tässä tilanteessa on oletettava, että teräs on heikointa rakenneteräslaatuja, jota on käytetty sen ensimmäisellä käyttökerralla. Asiaankuuluvia materiaalituotestandardia ja rakenteen asennuspäivään perustuvia suunnittelukoodeja voidaan käyttää.

Uudelleenkäytettävän teräsrakenteenteelle tarvitaan luotettavuusarviointi, jolla varmistetaan, että uudelleenkäytettävää tuotetta voidaan käyttää EN 1993-1-1 -standardin mukaisessa rakennesuunnittelussa. Tämän arvioinnin perusvaatimus liittyy olennaisesti siihen, että EN 1993 perustuu tunnettuun tilastolliseen myötöraja ja murtolujuusjakaumaan määrittääkseen poikkileikkausten ja resistanssien osatekijät, jotka täyttävät standardin EN 1990 mukaiset luotettavuusvaatimukset. Tällaisen arvioinnin tekemiseksi testitulosten on täytettävä tietyt myötörajojen ja murtolujuuksien vähimmäisarvot.

Liitteessä A esitetään arviointi- ja testausprotokolla, joka sisältää testattavien elementtien ryhmien (testiyksiköiden) määrittelyn, testaustiheyden, luotettavuusarvioinnissa

käytettävien testausmenettelyjen tyypit ja menettelyn riittävien luotettavuusvaatimusten saavuttamiseksi (luotettavuuden arviointi).

5.4.6 Uusioteräsrakenteiden toteutuksen ja sertifiointin arviointi

Valmistusprosessissa, standardeissa tai toleransseissa ei ole eroja uuden teräksen tai uudelleenkäytettävän teräksen osalta. Sen vuoksi on asianmukaista, että uudelleenvalmistetut ja uudelleenkäytetyt teräsrakenneteknit voidaan CE-merkitä standardin EN 1090-1 mukaisesti.

Valmistusprosessin kontrollin lisäksi materiaalin ominaisuudet on ilmoitettava standardin EN 1090-2 5.1 lausekkeen mukaisesti, jos materiaalisertifikaatteja/dokumentaatiota ei ole saatavilla. Uudelleenkäytettävää terästä käytettäessä tällaisten ominaisuuksien ilmoittaminen standardin EN 1090-2 mukaisesti voi olla teräksen toimittajan vastuulla. Tavarantoimittajat, jotka haluavat myydä uudelleenkäytettäviä osia takaisin rakennusteollisuudelle, ovat vastuussa materiaalidokumentaation toimittamisesta "uuden" teräksen valmistajilta odotetulla tavalla.

Edellinen lausunto liittyy tavallisiin uudelleenkäytettäviin osiin ilman hitsausmenetelmiä. Jos kierrätetyissä teräsrakenteissa on hitsattuja osia, hitsausmenetelmät on tarkastettava ja testattava sen varmistamiseksi, että ne täyttävät standardin EN 1090-2 valmistusvaatimukset.

5.5 Rakennusosat

5.5.1 Asiaankuuluvat ominaisuudet

Uudelleenkäytön yhteydessä rakennusosa edustaa yksittäistä elementtiä, joka on poistettu olemassa olevasta rakenteesta, joka on valittu purettaviksi ja jota käytetään suudelleen uutena tuotteena toisen rakenteen valmistuksessa ja rakentamisessa. Tämä voi sisältää kuumavalsattuja ja kylmämuovattuja teräsprofiileja.

Teräsprofiilien, -levyjen ja -tankojen mittojen ja toleranssien on oltava Taulukossa 5.4. ja putkiprofiilien Taulukon 5.5. mukaisia..

Taulukko 5.4 Valssatut teräsprofiilit, -levyt tai -tangot: materiaali- ja mittastandardit (Huom. profiilimuodot englanniksi)

Muoto	Mitat	Toleranssi	Materiaali	
			Seostamattomat teräkset	Säänkestävät teräkset
I and H sections	EN 10365	EN 10034	EN 10025-2 ^(a) EN 10025-3 EN 10025-4	EN 10025-5 ^(b)
Hot-rolled taper flange I sections	EN 10365	EN 10024		
Channels	EN 10365	EN 10279		
Rolled asymmetric beams	<i>See manufacturers' information.</i>			
Angles	EN 10056-1	EN 10056-2		
Rolled Tees	EN 10055	EN 10055		
Fabricated sections and member bow imperfections	–	EN 1090-2		

Plates (reversing mill) ^(c)	–	EN 10029		
Plates (cut from coil) ^(c)	–	EN 10051		

^(a) Steel grades S235, S275, S355 and S450. The steel grades S235 and S275 may be supplied in qualities JR, J0 and J2. The steel grade S355 may be supplied in qualities JR, J0, J2 and K2. The steel grade S450 is supplied in quality J0.
^(b) Steel grades S235 and S355. The steel grade S235 may be supplied in qualities J0W and J2W. The steel grade S355 may be supplied in qualities J0W, J0WP, J2W, J2WP and K2W.
^(c) The scope of EN 10029 covers plates of 3 mm up to 250 mm rolled in a reversing mill process, whereas EN 10051 covers plates up to 25 mm de-coiled continuously hot-rolled uncoated flat products.

Taulukko 5.5 Rakenteelliset putkiprofiilit: materiaali- ja mittastandardit

Muoto (a)	Mitat ja toleranssit	Materiaalin laatu
Putkiprofiilitprofiilit (kuumamuovatus)	EN 10210-2	EN 10210-1
Putkiprofiilit (kylmämuovatus)	EN 10219-2	EN 10219-1

^(a) Rakennusteräsrakenteissa (sekä kuuma- että kylmämuovatus) tarkoitetut putkiprofiilit toimitetaan teräslaatu S235 laadulla JRH, teräslaatu S275 laadulla J0H ja J2H ja S355 laadulla J0H, J2H ja K2H. Huomautus: Valittaessa joko EN 10210 tai EN 10219 määrittellen, onko rakenteelliset putkiprofiilit kuuma- vai kylmämuovattuja. EN 10210 -standardin mukaisia kuumamuovattuja rakenteellisiä putkiprofiileja ei voida suoraan korvata EN 10219 -standardin mukaisilla kylmämuovatuilla rakenteellisillä ontoilla profiileilla, koska ominaisuudet eivät vastaa suoraan.

Geometristen ominaisuuksien lisäksi materiaalin ominaisuuksilla on suuri merkitys osien suorituskyvyille. Teräslaatu voidaan määrittää käyttämällä 5.4.5 kohdassa esitettyjä testausprotokollia. Näitä protokollia voidaan käyttää myös standardin EN 1993-1-10 vaatimusten täyttämiseksi tarvittavan teräksen murtumissitkeyden määrittämiseen [17].

EN 1993-1-10 antaa yleiset suunnittelusäännöt teräslautujen valinnalle hauraan murtuman välttämiseksi määrittelemällä sitkeysominaisuudet ja lamellien repeytymisen välttämiseksi määrittämällä paksuussuuntaiset ominaisuudet.

Vaihtoehtoisesti Taulukko 5.6 sisältää rajoitetut leveyspaksuudet Ison-Britannian käytäntöön olettaen, että teräsrakenne hitsataan "kohtalaisilla" ja "erittäin vaikeilla" yksityiskohdilla referenssien mukaan [59] ja [60] jännitystasolla, joka on vähintään $0,5 \times f_y(t)$.

Taulukko 5.6 Suurin paksuus (mm) kullekin teräslaadulle (UK)

Hitsausdetalji	Teräslaatu	S235			S275			S355		
		JR	J0	J2	JR	J0	J2	JR	J0	J2
kohtalainen	sisällä	45	82.5	115	40	70	102.5	22.5	45	67.5
	ulkona	27.5	67.5	97.5	22.5	60	85	12.5	37.5	55
erittäin vaikea	sisällä	27.5	45	67.5	22.5	40	60	12.5	22.5	37.5
	ulkona	12.5	37.5	55	10	32.5	50	5	17.5	30

Koska nykyisen oppaan soveltamisala rajoittuu teräksen uudelleenkäyttöön, rakenteissa, joissa väsyminen ei ole suunnitteluun liittyvä näkökohta, SCI P419:ssä ehdotetut paksuusarvoja [61] voidaan käyttää. Katso Taulukko 5.7. EN 1993-1-10 -standardin taustasiakirja [18] vahvistaa, että paksuudet voivat olla erittäin turvallisia, jos niitä käytetään väsymättömissä rakenteissa.

SCI P419 käyttää samoja menettelyjä kuin Eurocode, joka perustuu murtumaan, mutta vähentää laskettua halkeamien kasvua sovelluksissa, joissa väsyminen ei ole suunnittelun lähtökohta.

Taulukko 5.87 noudattaa samaa muotoa kuin standardin EN 1993-1-10 taulukko 2.1.

Taulukko 5.87 voidaan käyttää muissa maissa kuin Iso-Britanniassa, kun väsyminen ei ole suunnitteluun liittyvä näkökohta, jollei rakennusmaan kansallisissa liitteissä muuta vaadita.

Taulukko 5.7 Paksuusarvojen rajoittaminen, kun väsyminen ei ole suunnittelun näkökohta [61]

Steel grade	Sub Grade	Charpy energy CVN		Reference temperature, T_{Ed} (°C)																				
				$\sigma_{Ed} = 0.75 f_y(t)$					$\sigma_{Ed} = 0.5 f_y(t)$					$\sigma_{Ed} = 0.25 f_y(t)$										
		at T (°C)	J_{min}	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50
S235	JR	20	27	200	200	200	195	125	87	63	200	200	200	200	200	161	200	200	200	200	200	200	200	200
	JO	0	27	200	200	200	200	195	125	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	J2	-20	27	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
S275	JR	20	27	200	200	200	133	91	64	47	200	200	200	200	200	170	121	200	200	200	200	200	200	200
	JO	0	27	200	200	200	200	133	91	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	J2	-20	27	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	M,N	-20	40	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	ML, NL	-50	27	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
S355	JR	20	27	200	177	114	77	54	40	30	200	200	200	200	147	104	76	200	200	200	200	200	200	200
	JO	0	27	200	200	200	177	114	77	54	200	200	200	200	200	147	200	200	200	200	200	200	200	200
	J2	-20	27	200	200	200	200	177	114	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	K2,M,N	-20	40	200	200	200	200	200	177	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	ML, NL	-50	27	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
S460	Q	-20	30	200	200	200	200	147	96	65	200	200	200	200	200	187	200	200	200	200	200	200	200	200
	M,N	-20	40	200	200	200	200	200	147	96	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	QL	-40	30	200	200	200	200	200	147	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	ML, NL	-50	27	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	QL1	-60	30	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200

Tarkastusasiakirjat (tai testitodistukset) antavat riittävästi tietoa siitä, että tuote täyttää vaaditun laadun. Terästehtaissa laadunvalvontajärjestelmä tekee merkinnät leimatuilla numeroilla tai kirjaimilla jokaiseen tuotepituuteen tai -erään, jotta se voidaan jäljittää tiettyyn valu- ja valmistusreittiin aina osien kokoamispaikkaan asti [63]. Jokaisen teräserän tarkastusasiakirja on tärkein asiakirja teräksen valmistajalle, konepajalle, urakoitsijalle ja valmiin komponentin tai rakenteen seuraavalle ostajalle. Kemiallisen koostumuksen ja mekaanisten ominaisuuksien lisäksi tarkastusasiakirjaan tulee merkitä myös teräksen valmistusreitti ja teräksen valmistajan materiaalille mahdollisesti tekemät lämpökäsittelyt.

Teräs, jonka laatu ei ole helposti tunnistettavissa, on testattava standardien mukaisuuden määrittämiseksi. On laadittava näytteenotto-protokolla, jotta saadaan riittävät tiedot luotettavaan arviointiin tarvittavista materiaaleista (ks. Liite A). Tunnistamaton kierrätetty terästä voidaan käyttää muissa kuin turvallisuuskriittisissä rakenteissa kuten esimerkiksi maatalousrakennuksissa.

Teräsosien rakenteellisen uudelleenkäytettävyyden todentamiseksi perustuotteina ehdotetaan seuraavaa menettelyä:

- Kaikille teräsosille olisi toimitettava asiakirjat, joista käy ilmi sijainti ja rakennus, josta jäsenet on purettu, mukaan lukien alkuperäisen rakennuksen rakennusajankohta,
- Kaikkien uudelleenkäytettävien tuotteiden on oltava peräisin rakenteesta, joka on rakennettu vuonna 1970 tai sen jälkeen valmistetuista teräsosista, jotka eivät ole altistuneet laajalle dynaamiselle kuormitukselle ja muille ankarille olosuhteille, kuten tulipalolle,

- Kaikki pinnat on tarkastettava silmämääräisesti, jotta teräspinnoilla ei ole liiallista korroosiota. (kaikki palosuojat on poistettava). Kylmämuovattujen osien osalta hitsaussaumot on tarkastettava mahdollisten vikojen varalta,
- Myrkyllisiä aineita, kuten lyijyä, kadmiumia, asbestia ja pintahilseilyä, sisältävät pinnoitteet on poistettava valmistelemalla pinnat standardin EN ISO 8501-1 mukaisesti [64],
- Teräsosat eivät saa sisältää hitsattuja jatkoksia (ellei hitsejä testata) eikä niissä saa olla reikiä paikoissa, joissa osaan porataan uusia reikiä (vähintään 3 kertaa reiän halkaisija tai 100 mm on kohtuullinen yksityiskohtainen sääntö uusien reikien ja liitosten väliselle etäisyydelle),
- Poikkileikkauksen mitat (jos niitä ei ole tiedossa) on mitattava ja leikkaukset luokiteltava Taulukko 5.4 ja Taulukko 5.5. Vähintään kolme osaa on valittava nimellisarvoihin vertailua varten,
- Avoprofiileille (leveälaippaiset H- ja I-profiilipalkit) EN 10034 määrittelee näiden osien muotomittojen toleranssit. Seuraavia toleransseja on käytettävä: poikkileikkauksen korkeus, laipan leveys, uuman paksuus, laipan paksuus, suorakulmaisuus ja epäkeskeisyys,
- Suljetuille poikkileikkauksille, jotka ovat pyöreitä putkiprofiileja (CHS) ja neliömäisiä (SHS) ja suorakaiteen muotoisia (RHS), EN 10219-2 määrittelee kylmämuovattujen rakenteellisten putkiprofiilien muotomittojen toleranssit, kun taas EN 10210-2 määrittelee kuumamuokattujen rakenteellisten putkiprofiilien muotomittojen toleranssit. Seuraavat toleranssit on otettava huomioon: ulkomitat (CHS ja RHS), paksuus (CHS ja RHS), epäpyöreys (CHS), koveruus/kuperuus (RHS) ja sivujen suorakulmaisuus (RHS),
- Osien suoruuden toleranssien tulee olla standardien EN 1090-2 mukaisia ja CBS:n ja RHS:n standardien EN 10219-2 ja EN 10210-2 mukaisia. Vanhempien osien toleranssit voivat olla erilaisia, ja siksi jonkin verran oikaisua voidaan tarvita. Katso.
- Taulukko 5.8 Iso-Britanniasta ja Romaniasta saatu historiallinen data
- Osissa tulee olla sileä pinta. Valmistusprosessista johtuvat kolhut, ontelot tai matalat pitkittäiset urat ovat kuitenkin sallittuja, jos jäljellä oleva paksuus on toleranssin sisällä. Pintavirheet voidaan poistaa hiomalla edellyttäen, että poikkileikkauksen paksuus (paksuudet) korjauksen jälkeen on vähintään pienin sallittu paksuus. Jos todellinen mitta hiekkapuhalluksen/hionnan jälkeen ei täytä nimellismittoja, joista on vähennetty nimellistoleranssi, lohko siirretään seuraavaan kevyempään osaan,
- Diffuse necking (poikkileikkauksen pieneneminen) ei ole sallittua esimerkiksi liitoksissa ja jännityselementeissä,
- Osat, joita ei taloudellisesti kannata korjata/kunnostaa, on romutettava,
- Uudelleenkäytettävä rakenneteräs on luokiteltava suunnittelutarkoituksiin CEN/TS 1090-201:2024 mukaan ja esitettävä 5.4.1 kohdan mukaisesti.

Taulukko 5.8 Yksittäisten jäsenten geometrinen toleranssien tarkastelu

Products	Tolerances
----------	------------

	BS4 UK (1962) [65]	Dorman Long UK (1964) [66]	NSSS UK (1994) [67]	EN 1090-2 EU (2018) [8]	STAS 767 RO (1988) [68]
Beam	L/960	L/960	L/1000 or 3 mm	L/1000	L/1000, but max. of 15 mm
Column up to (but not including) 9.14 m	L/714	L/960	L/1000 or 3 mm	L/1000	
Column up to 13.72 m	L/960	L/960	L/1000 or 3 mm	L/1000	
Columns over and equal to 13.72 m	L/960 – 4.75 mm	L/960 + 9.5 mm	L/1000 or 3 mm	L/1000	

5.5.2 Luotettavuus

Eurocode 3 -suunnittelun luotettavuus taataan osavarmuuskertoimilla. Näiden tekijöiden suositellut arvot on määritelty Eurocode 3:n ko. asiaa koskevassa osassa ja vastaavissa kansallisissa liitteissä. Puretusta osista ei tällä hetkellä ole annettu informaatiota.

Jos testausprotokollat ja -vaatimukset on määritelty CEN/TS 1090-201:2024 [2] mukaan, vaikuttaa järkevältä soveltaa samoja osavarmuuskertoimia jos kansallisella tasolla ei ole muita säännöksiä.

EN 1993-1-1:2022, liite E, [15] tarjoaa geometrinen ja materiaaliominaisuuksien tilastolliset ominaisuudet, jotka oletettiin osavarmuuskertoimien nykyarvojen määrittämisessä.

Mittojen olennaiset keskiarvot ja variaatiokertoimet on esitetty taulukossa E.2. Sellaisten mittaominaisuuksien osalta, joita ei ole erikseen mainittu taulukossa E.2 standardissa EN 1993-1-1:2022, oletetaan, että keskiarvot ovat yhtä suuret kuin nimellisarvot ja keskihajonnat ovat puolet nimellisarvon ja EN 1090-2 tai muiden asiaankuuluvien tuotestandardien mukaisen sovellettavan toleranssivälin alarajasta. Taulukko 5.9 arvot (Taulukko E.2, [15]) edustavat Euroopan markkinoilla tällä hetkellä saatavilla olevia tuotteita, jotka täyttävät asiaankuuluvat eurooppalaiset tuotestandardit.

Taulukko 5.9 Mittaominaisuuksien oletettu vaihtelu [15]

Dimension type	Parameter	Mean value	Coefficient of variation	Upper reference value	Lower reference value
		X_m		$X_{5\%}$	$X_{0.12\%}$
Outer dimensions of cross-section	Depth h	1.0 h_{nom}^a	0.9 %	0.98 h_{nom}^a	0.97 h_{nom}^a
	Width b	1.0 b_{nom}^a	0.9 %	0.98 b_{nom}^a	0.97 b_{nom}^a
	Outer diameter d of circular hollow section	1.0 d_{nom}^a	0.5 %	0.99 d_{nom}^a	0.98 d_{nom}^a
Thickness	Rolled and welded I- and H-sections: flange thickness t_f	0.98 $t_{f,nom}^a$	2.5 %	0.95 $t_{f,nom}^a$	0.91 $t_{f,nom}^a$

Dimension type	Parameter	Mean value	Coefficient of variation	Upper reference value	Lower reference value
		X_m		$X_{5\%}$	$X_{0.12\%}$
	Rolled and welded I- and H-sections: web thickness t_w	$1.0 t_{w,nom}^a$	2.5 %	$0.96 t_{w,nom}^a$	$0.93 t_{w,nom}^a$
	Hot rolled (seamless) or welded structural hollow sections (acc. to EN 10210 (all parts)): wall thickness t	$0.99 t_{nom}^a$	2.5 %	$0.95 t_{nom}^a$	$0.92 t_{nom}^a$
	Cold-formed sections made from coils or plates (acc. to EN 10219 (all parts)): wall thickness t	$0.99 t_{nom}^a$	2.5 %	$0.95 t_{nom}^a$	$0.92 t_{nom}^a$
	All other welded sections made from heavy plates: thickness t	$0.99 t_{nom}^a$	2.5 %	$0.95 t_{nom}^a$	$0.92 t_{nom}^a$
^a Nominal dimensions according to the applicable product standard or specification.					

Taulukko 5.10 antaa materiaalin ominaisuuksille oletetut tilastolliset ominaisuudet, myötöraajat ja murtolujuuden.

Taulukko 5.10 Materiaalin ominaisuuksien oletettu vaihtelu [15]

Parameter	Steel grade	Mean value	Coefficient of variation	Upper reference value	Lower reference value
		X_m		$X_{5\%}$	$X_{0.12\%}$
Yield strength, f_y	S235, S275	$1,25 R_{eH,min}^a$	5,5%	$1,14 R_{eH,min}^a$	$1,06 R_{eH,min}$
	S355, S420	$1,20 R_{eH,min}^a$	5,0%	$1,1 R_{eH,min}^a$	$1,03 R_{eH,min}$
	S460	$1,15 R_{eH,min}^a$	4,5%	$1,07 R_{eH,min}^a$	$1,00 R_{eH,min}$
	Above S460	$1,10 R_{eH,min}^a$	3,5%	$1,04 R_{eH,min}^a$	$1,00 R_{eH,min}$
Ultimate tensile strength, f_u	S235, S275	$1,20 R_{eH,min}^a$	5,0%	$1,11 R_{m,min}^a$	$1,03 R_{m,min}$
	S355, S420	$1,15 R_{eH,min}^a$	4,0%	$1,08 R_{m,min}^a$	$1,03 R_{m,min}$
	S460 and above	$1,10 R_{eH,min}^a$	3,5%	$1,04 R_{m,min}^a$	$1,00 R_{m,min}$
Modulus of elasticity, E	All steel grades	210 000 MPa	3,0%	200 000 MPa	192 000 MPa
^a $R_{eH,min}$ and $R_{m,min}$ are the minimum yield strength R_{eH} and the lower bound of the ultimate tensile strength R_m , according to the applicable product standard, e.g. EN 10025 (all parts).					

Jos alkuperäisten ominaisuuksien arviointi antaa samanlaisia tilastollisia ominaisuuksia uudelleenkäytettäville osille, vaikuttaa jälleen kohtuulliselta soveltaa uudelleenkäytettäviin osiin yleisesti käytettyjä osittaisten kertoimien arvoja edellyttäen, että myös geometriset toleranssit, kuten suoruus tai tasaisuus, ovat tuotestandardien mukaisia.

5.6 Rakenneosat tai koko päärakenne

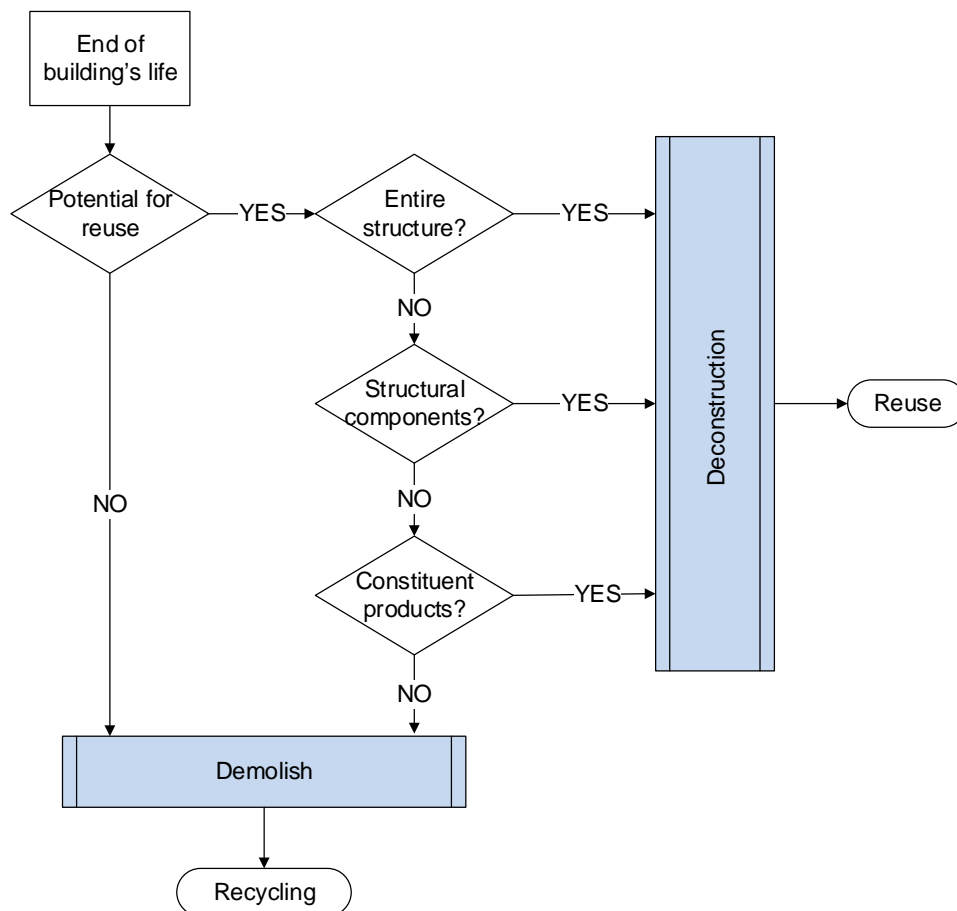
Teräsrakenteet ovat yleensä hyvin purettavia. Edellyttäen, että purkamiseen kiinnitetään huomiota jo suunnitteluvaiheessa, ei ole mitään teknistä syytä, miksi lähes kaikkea teräsrakennuskantaa ei pitäisi käsitellä komponentteina, joita käytetään tulevaisuudessa uusissa sovelluksissa. Joillakin toimialoilla, kuten teollisuudessa ja maataloudessa, yksikerroksisten teräsrakenteiden ja julkisivukomponenttien uudelleenkäyttö on jo suhteellisen yleistä.

Standardin EN 1090-2 mukaan komponentti edustaa teräsrakenteen osaa, joka voi itsessään olla useista pienemmistä komponenteista koostuva kokoonpano. Teräsrakenne edustaa yhdistelmää toisiinsa liitettyjä komponentteja, jotka on suunniteltu kantamaan kuormia ja tarjoamaan riittävää jäykkyyttä.

Ehdotus valinta- ja hyväksymiskriteereistä teräskomponentin eli rakenteen osan tai koko primäärirakenteen uudelleenkäytölle::

- Rakenneosien tai koko päärakenteen on kuuluttava vuoden 1970 jälkeen rakennettuun teräsrakennukseen, jossa on käytetty kyseisenä vuonna tai sen jälkeen valmistettuja elementtejä, eikä niihin saa olla kohdistunut merkittävää dynaamista kuormitusta tai muita äärimmäisiä olosuhteita,
- Uudelleenkäytettävä teräs on sertifioitava poikkileikkausominaisuuksien mukaisesti ja luokiteltava tämän asiakirjan 5.4.1 kohdassa ehdotetun järjestelmän mukaisesti,
- Yksittäiset rakenneosat arvioidaan kohdan 5.5. mukaan. Termi "arviointi" on tässä yhteydessä määritelty standardissa EN 1090-1, toisin sanoen vaatimusten, kuten materiaalin ominaisuuksien, geometrian ja rakenteellisten ominaisuuksien, noudattamisen osoittaminen,
- Kohdan 5.5. lisäksi, kaikki hitsit on tarkastettava 100 % silmämääräisesti koko pituudeltaan pintavirheiden varalta standardin EN ISO 17637 mukaisesti [69]. Silmämääräinen tarkastus tulee suorittaa ennen muita NDT-tarkastuksia. Jos pinnan epätasaisuuksia havaitaan, tarkastetulle hitsille on suoritettava lisätestaus tunkeumanestetestillä tai magneettijauhetarkastuksella. Yleensä ultraäänitestaus tai röntgentestaus koskee päittäishitsauksia ja tunkeumanestetesti tai magneettijauhetarkastus pienahitsejä,
- Aiempien sovellusten olemassa olevia pultteja ei saa käyttää uudelleen,
- Uudelleentalmistuksessa uudelleenkäytetty teräskomponentti / detajji / rakenneosa tai moduuli / primäärirakenne voidaan CE-merkitä EN 1090-1 -standardin mukaisesti [7].

Kuva. 5.4 esittää puitteet teräsrakenteen tai rakenneosan uudelleenkäyttöprosessille.



Kuva. 5.4 Teräsrakenteiden/-komponenttien uudelleenkäyttöprosessin yleiset puitteet

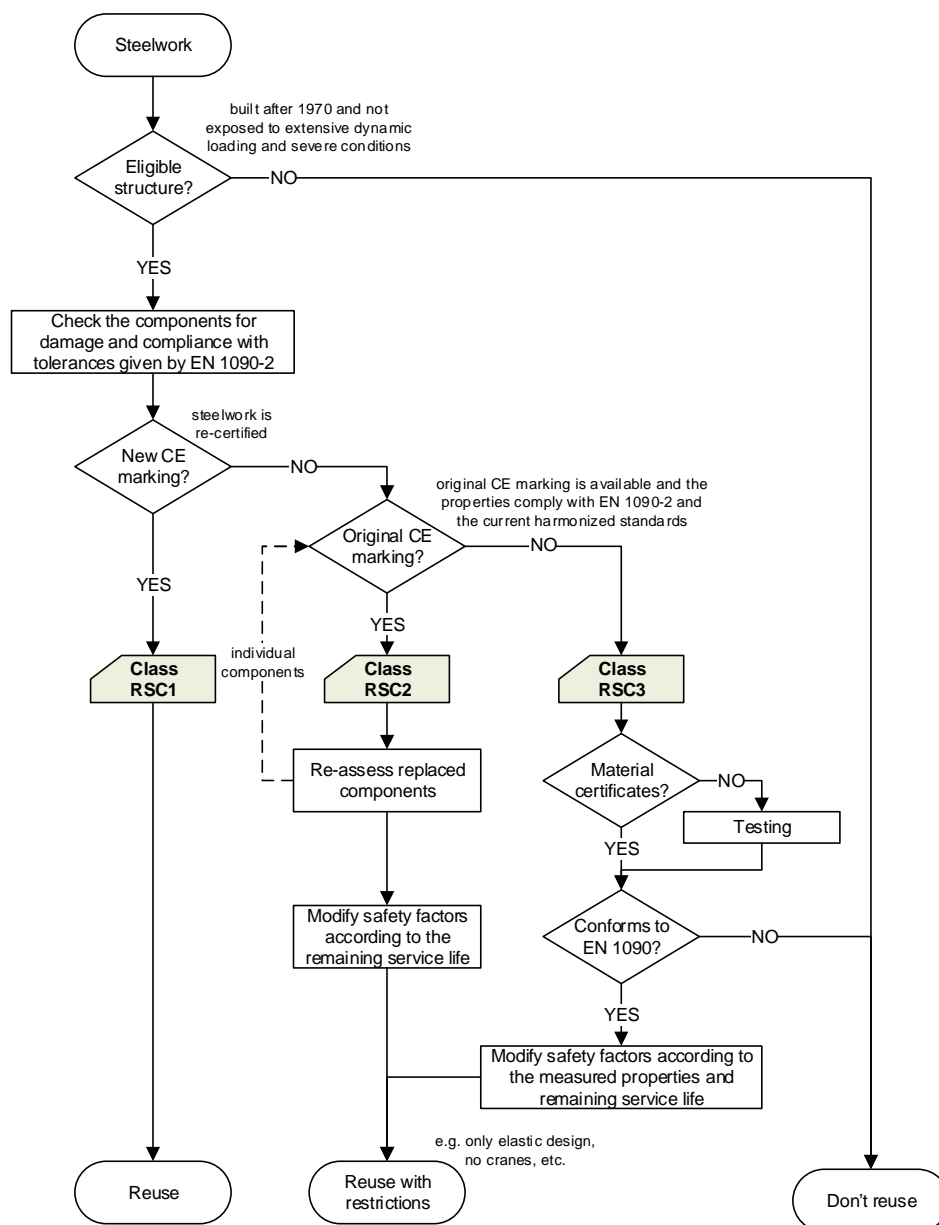
Uudelleenkäytettävän teräksen käyttöön liittyy kuitenkin väistämättä jonkinasteista epävarmuutta. Komponenttien tai kokonaisten primäärirakenteiden uudelleenkäytettävyyden todentamisen yleinen kehys on esitetty Kuva. 5.5.

Vuokaaviossa (Kuva. 5.5) yksilöidään kolme mahdollista luokkaa tarkastettuaan standardin EN 1090-2 mukaisten toleranssien hyväksyttävyyden ja noudattamisen:

- Luokka RSC1: rakenneosaa ei ole CE-merkitty ensimmäisessä käytössä, ja se on sertifioitava uudeksi rakenneosaksi/rakenteeksi. Yksityiskohtaiset tutkimukset ovat välttämättömiä tälle luokalle - teräsmateriaalit täyttävät suorituskykyvaatimukset laajalla testauksella,
- Luokka RSC2: rakenneosa on CE-merkitty ensimmäisessä käytössä standardin EN 1090-1 mukaisesti ja alkuperäinen dokumentaatio on saatavilla. Jokainen komponentti olisi arvioitava uudelleen standardin EN1090-2 ja yhdenmukaistettujen standardien noudattamisen varmistamiseksi. Teräsmateriaalit täyttävät suorituskykyvaatimukset rajoitetun testauksen ja alkuperäisten sertifikaattien hyväksytyin laadunvarmistuksen ansiosta. Hitsauksen on läpäistävä silmämääräiset ja muut NDT-tarkastukset. Kierrätettyä rakenneosaa voidaan käyttää uudelleen EN 1993-1-1 -standardin mukaisessa suunnittelussa tietyin rajoituksin: (i) plastinen analyysi ei ole sallittu, kun kierrätettyä terästä käytetään uudelleen; ii) γ_{M1} -varmuuskertoimen konservatiivista arvoa suositellaan mahdollisten epävarmuustekijöiden huomioon ottamiseksi, koska arviointiprosessit ovat

todennäköisesti vähemmän luotettavia kuin uusien teräsrakennneosien arviointiprosessit,

- Luokka RSC3: rakenneosaa ei ole CE-merkitty tai sitä ei ole saatavilla. Rakenneosien on oltava EN 1090-2 -standardin mukaisia. Teräsmateriaalit ja hitsaus voidaan arvioida rajoitetulla materiaalitestauksella ja sertifioida uudelleen. Kierrätettyä rakenneosaa voidaan käyttää uudelleen standardin EN 1993-1-1 mukaisissa malleissa samoilla rajoituksilla kuin luokassa RSC2.



Kuva. 5.5 Komponenttien tai kokonaisten primäärirakenteiden uudelleenkäytettävyyden todentamisen yleiset puitteet

5.6.1 Toteutusluokat

Teräkseltä vaadittava toteutusluokka on luotettavuustekijä laatu-, testaus- ja pätevyysvaatimusten valinnassa. CE-merkinnän perustana on, että valmistaja vakuuttaa,

että sen tuotteet täyttävät määritellyt suorituskykyominaisuudet, jotka on määritelty olennaisiksi tuotteiden käytön kannalta rakentamisessa.

Jokaiselle projektille on määriteltävä vaadittu valmistuksen laatu tai toteutusluokka (EXC). EN 1090-2 [8] edellyttää, että toteutusluokka määritellään teokselle kokonaisuutena, yksittäiselle osalle tai komponentin yksityiskohtalle. Joissakin tapauksissa rakenteen, komponenttien ja yksityiskohtien suoritusluokka on sama, kun taas toisissa tapauksissa komponentin ja yksityiskohtien suoritusluokka voi olla erilainen kuin koko rakenteen.

EN 1090-2 määrittelee vaatimukset, jotka ovat enimmäkseen riippumattomia teräsrakenteen tyypistä ja muodosta (esim. rakennukset, sillat tai ristikot), mukaan lukien väsymiselle tai seismiselle toiminnalle alttiina olevat rakenteet. Tietyt vaatimukset eroavat toisistaan toteutusluokkien suhteen.

EN 1090-2 -standardin mukaan on neljä luokkaa, jotka vaihtelevat EXC1:stä, jonka vaatimukset ovat vähiten tiukat, EXC4:ään, jonka vaatimukset ovat tiukimmat. On kuitenkin huomattava, että EXC4:n vaatimukset olisi määriteltävä erikseen, mutta ottaen huomioon vähintään kerran EXC3:een sovellettavat vaatimukset. Suunnittelijan tehtävänä on valita rakenteelle, yksittäiselle komponentille tai komponentin tietylle yksityiskohtalle tarvittava EXC.

Suoritusluokan valinnan tulee perustua seuraaviin kolmeen tekijään:

- vaadittu luotettavuus;
- kuormitustyyppi, jota varten rakenne, komponentti tai yksityiskohta on suunniteltu;
- rakenteen, komponentin tai yksityiskohtan tyyppi.

Luotettavuuden hallinnan kannalta suoritusluokan valinnan tulee perustua vaadittuun seuraamusluokkaan (CC). Seuraamusluokka on määritelty standardissa EN 1990:2023 [9]. Eurokoodien määräykset kattavat CC1–CC3-luokiteltujen rakenteiden suunnittelusäännöt.

Teräsrakenteeseen tai -komponenttiin tai yksityiskohtaan kohdistetun kuormitustyyppin suhteen toteutusluokan valinnan tulee perustua siihen, onko rakenne tai komponentti tai yksityiskohta suunniteltu staattisiin toimintoihin, kvasistaattisiin toimiin, väsymistoimiin vai seismisiin toimiin.

Toteutusluokan (EXC) valinta kuormitustyyppin perusteella on annettu Taulukko 5.11 standardista EN 1993-1-1.

Taulukko 5.11 Suoritusluokan (EXC) valinta kuormitustyyppin perusteella

Seurausluokka (CC)	Kuormituksen tyyppi				
	Staattinen, kvasistaattinen	Seisminen			Väsyminen
		DC1a	DC2a	DC3a	
CC3	EXC3 ^c	EXC3 ^c	EXC3 ^c	EXC3 ^c	EXC3 ^c
CC2	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3 ^d	EXC3
CC1	EXC1	EXC2 ^e	EXC2	EXC2	EXC2

^a Seismiset sitkeysluokat (DC) on määritelty standardissa prEN 1998-1-1.
^b Katso EN 1993-1-9.

- ^c EXC4 voidaan harkita erityistapauksissa, mukaan lukien ne, jotka tyypillisesti kuuluvat standardin EN 1990 CC4 piiriin.
- ^d Vain ensisijainen seisminen vastustusjärjestelmä kuuluu EXC3:een; painovoimakuormituksen vastustusjärjestelmä voi kuulua EXC2:een.
- ^e Jos seisminen toimintaindeksi on enintään 2,5 m/s² (alhainen seisminen toimintaluokka, katso prEN 1998-1-1), DC1:n rakenteiden toteutusluokka voi olla EXC1.

Jos tietyille komponenteille ja/tai yksityiskohdille vaadittu toteutusluokka poikkeaa rakenteeseen yleisesti sovellettavasta toteutusluokasta, nämä komponentit ja/tai yksityiskohdat on yksilöitävä selkeästi.

Kansallisissa liitteissä voidaan täsmentää toteutusluokan valinta komponenttityyppien tai yksityiskohtien perusteella. Seuraavaa suositellaan [15]:

- "Jos rakenteeksi valitaan EXC1, EXC2:ta tulisi soveltaa seuraaviin komponenttityyppeihin:*
- a) hitsatut komponentit, jotka on valmistettu vähintään S355-luokan terästuotteista;*
 - b) rakenteellisen eheyden kannalta välttämättömät hitsatut komponentit, jotka kootaan hitsaamalla rakennustyömaalla;*
 - c) CHS-ristikkojen hitsatut osat, jotka vaativat päätylevyjen leikkauksia;*
 - d) komponentit, jotka on kuumamuovattu valmistuksen aikana tai joita lämpökäsitellään valmistuksen aikana."*

Tässä asiakirjassa keskitytään yksi- ja monikerroksisten teräsrakennusten ja niiden osien uudelleenkäyttöön. Uudelleenkäytetyt komponentit voidaan ohjata standardin EN 1993-1-1 liitteen A mukaiseen seuraamusluokkaan CC1 tai CC2 staattiselle, kvasistaattiselle tai seismiselle DC1-tyyppiselle kuormitukselle. Näin ollen toteutusluokka 2 (EXC2) soveltuu parhaiten useimpiin yksi- ja monikerroksisiin rakennuksiin eli rakennuksiin tai rakennusten osiin, jotka eivät kuulu CC1:n tai CC3:n piiriin. Luettelo toteutusluokkiin liittyvistä vaatimuksista on standardin EN 1090-2 liitteessä A.3.

Uudelleenkäytettäviä rakenneteräsosia on selvästi käsiteltävä eri tavalla, koska ne on saatettu valmistaa peruutetun standardin mukaisesti ja niillä ei todennäköisesti ole dokumentoituja testituloksia valmistushetken jälkeen. EN 1090-2 hyväksyy muiden materiaalien käytön toteamalla, että: *"Jos käytetään ainesosia, jotka eivät kuulu lueteltujen standardien piiriin, niiden ominaisuudet on määriteltävä"*. Valmistusprosesseissa, menettelyissä, standardeissa tai toleransseissa ei ole eroja uuden teräksen tai uudelleenkäytettävän teräksen osalta. Sen vuoksi on aiheellista, että uudelleenkäytetyt teräsrakenneosat voidaan CE-merkitä standardin EN 1090 mukaisesti. Rakenneosien huolellisen valvonnan lisäksi materiaalin ominaisuudet on ilmoitettava standardin EN 1090-2 mukaisesti.

EXC:n erittely ei välttämättä aina yksin riitä hyväksymiskriteerien ja tarkastuksen laajuuden erottamiseen toisistaan eri tärkeyden tai kriittisyyden omaavien hitsien/yksityiskohtien osalta. Tämä voi johtaa seuraaviin:

- a) hyväksymiskriteerit voivat tulla liian raskaiksi hitseille, jotka eivät ole tärkeitä,
- b) määritetyn tarkastuksen laajuus voi kasvaa liian suureksi hitseille, jotka eivät ole tärkeitä,
- c) Määritetyssä tarkastuksessa ei välttämättä ole kriittisiä kohtia.

Hitsin tarkastusluokkien (WIC) käyttö (ks. standardin EN 1090-2 liite L) voi olla hyödyllistä ohjattaessa lisätestauksen laajuutta ja prosentuaalista laajuutta hitsin kriittisyyden mukaan.

Tästä voi olla hyötyä sekä turvallisuuden että talouden kannalta, koska tarpeettomilta tarkastuksilta ja korjauksilta voidaan välttää. Hitsin tarkastusluokkien (WIC) alkuperäisessä valinnassa on otettava huomioon todennäköisyys, että tietyissä hitsauskoonpanoissa ilmenee vikoja (esim. hitsit, jotka on suoritettava vaikeissa olosuhteissa, kuten työmaahitsit ja väliaikaisten kiinnikkeiden hitsit). Tämän jälkeen hitsin tarkastusluokkia (WIC) voidaan vähentää tuotannosta saadun kokemuksen perusteella.

Hitsin tarkastusluokkia on käytettävä seuraavien valintakriteerien perusteella:

- a) käyttö väsymiseen,
- b) rakenteen hitsin epäonnistumisen seuraukset,
- c) jännityksen suunta, tyyppi ja taso.

Standardin EN 1090-2 liitteessä A.3 luetellaan vaatimukset, jotka koskevat kutakin tässä eurooppalaisessa standardissa mainittua toteutusluokkaa. "Nr" taulukossa tarkoittaa "Tekstissä ei ole erityisiä vaatimuksia".

Kun kyseessä on uudelleenkäytettävä komponentti tai koko primäärirakenne, urakoitsija tai varaston haltija on vastuussa rakenteen (koko urakan) sekä komponenttien ja yksityiskohtien EXC:n määrittämisestä, jos on aiheellista määritellä rakenteelle määritellystä eri toteutusluokka. Jos komponenttien tai yksityiskohtien toteutusluokka on erilainen, se ei saisi olla pienempi kuin koko urakalle määritelty toteutusluokka. Komponentin tai yksityiskohtien EXC on yksilöitävä selvästi uudessa spesifikaatiossa, jos se poikkeaa rakenteen toteutusluokasta.

Organisaatiolla, jolla on hallussaan uudelleenkäytettäviä rakenneosia tai primäärirakenne, on tärkeitä vastuita, joihin kuuluu teräsrakenteen tarkastus ja testaus, kattavan kirjanpidon pitäminen ja materiaalien ominaisuuksien virallinen ilmoittaminen, kun uudelleenkäytetyt rakenneosat tai koko primäärirakenne jaetaan toimitusketjuun.

Kun uudelleenkäytettäviä rakenneosia tai koko primäärirakennetta jaetaan toimitusketjuun, siihen on liitettävä virallinen vakuutus standardin EN 1090-2 vaatimusten mukaisesti. Ilmoituksesta on käytävä selvästi ilmi, mitkä ominaisuudet on oletettu ja mitkä on määritetty testillä.

Seuraavat ominaisuudet on ilmoitettava:

- geometriset tiedot (mittojen ja muodon toleranssit),
- hitsattavuus – Tarvittaessa, jos ei voida ilmoittaa "Suoritusastoa ei ole määritetty (NPD)",
- teräsrakennetuotteiden murtumissitkeys,
- palokäyttäytyminen – On ilmoitettava, että materiaalit luokitellaan luokkaan A1; tai jos pinnoite, jonka orgaaninen pitoisuus on suurempi kuin 1 %, orgaanisen sisällön asianomainen luokka,
- kadmiumin ja sen yhdisteiden vapautuminen – ilmoitetaan "NPD",
- radioaktiivisuuspäästöt – ilmoitettava "NPD",
- kestävyys – Ilmoitetaan komponenttispesifikaation mukaisesti,
- toteutusluokka (EXC),
- viittaus komponentin spesifikaatioon.

5.7 Kylmämuovatus rakenneosat

Orret ja kiskot ovat yleensä kylmävalssattuja, ohutseinäisiä sinkittyjä osia. Tällä hetkellä Z-, C- ja Σ - profiileja käytetään sekundääreinä, ja valmistajat tarjoavat suunnittelutietoja kuormitus-/jännevälitaulukoiden tai ohjelmistojen muodossa. Rakennuksen vaippa rajoittaa usein sekundäärejä, jotka toimivat primääripalkkien (esim. ristikot) tai pilarien tukemina orsina (esim. kantavat profiilit, kasetit, sandwich-paneelit jne.).

Taivutusmomenttikaavion muoto ei riipu vain kuormituksen tyypistä, painovoimasta tai imukuormasta, vaan myös orren tukiolosuhteista, jotka voidaan yksinkertaisesti tukea tai käyttää jatkuvana kahdessa tai useammassa jännevälissä. Kun orsi on jatkuva, sillä voi olla sama poikkileikkaus jännevälissä ja tuen päällä tai porrastettuja poikkileikkauksia limityksenä tukien päällä. Jälkimmäisessä tapauksessa Z-profiilit voidaan valita mukauttamaan orren kapasiteetti momentin vaihteluun pituussuunnassa ja myös tukien poikittaiskuormituksen tarpeeseen.

Jokaisella valmistajalla on omat erityiset muotonsa, korkeudet 100-350 mm ja ainevahvuudet 0,8-3,2 mm. Nämä orret soveltuvat yleensä 4–9 metrin runkoväleille ja 1,2–2,5 metrin jaolle.

Kaikkien kylmämuovatuissa teräskappaleissa ja profiloituissa levyissä käytettävien terästen on sovelluttava kylmämuovaukseen ja tarvittaessa hitsaukseen. Sinkityissä osissa ja levyissä käytettävien terästen tulee myös soveltua sinkitykseen.

Standardissa EN 1993-1-3 [16] täsmennetään, että taulukossa 5.1a esitetyt materiaalit ovat harmonisoitujen tuotestandardien mukaisia, kun taas taulukossa 5.1b esitetyt materiaalit ovat EN- tai ISO-tuotestandardien mukaisia. Muiden terästen soveltuvuus kylmämuovaukseen on osoitettava taivutustestillä standardin EN ISO 7438 mukaisesti [70] tai vastaavalla testillä.

Tehokkaan suunnittelun takaamiseksi, kun jännevälit vaihtelevat 6,0 metristä 7,0 metriin, jatkuvat orret valmistetaan yleensä siten, että osat on limitetty ja pultattu välitukiin. Vaihtoehtoisesti tuplaorsia voidaan käyttää orren vahvistamiseen välituilla.

Levyä voidaan käyttää jatkuvana estämään orsien muodonmuutoksia. Jotta tällaiset järjestelmät olisivat tehokkaita, niillä on oltava riittävä translaatio- ja pyörimisjäykkyys. Jos levy ei ole täysin tehokas, voidaan käyttää ei-jatkuvia tai erillisiä sivuttaisjäykisteitä, jotka on sijoitettu orsiin.

Sekundääristen kevyiden teräsrakenteiden talteenoton onnistumisprosentti on todennäköisesti paljon alhaisempi verrattuna primääri kuumavalssattuun teräsrakenteeseen. Tämä johtuu siitä, että verhous kiinnitetään yleensä huomattavalla määrällä liitoksia, mikä voi haitata purkamisprosessia ja vahingoittaa rakenneosia prosessin aikana.

Edellisissä osissa esitettiin yleiskatsaus EN 1090-2 -standardin mukaisesta kuumavalssattujen rakenneteräselementtien uudelleenkäyttöprosessista. Kylmämuovattuihin rakenneosiin sovelletaan samanlaisia periaatteita ottaen huomioon standardin EN 1090-4 suositus [71]. Myös lähdemateriaalin vaihtoehtoiset spesifikaatiot, jotka ovat samanlaisia kuin 5.2.5 kohta, ovat mahdollisia. Seuraavissa osissa selvennetään

keskeisiä näkökohtia, jotka mahdollistavat kylmämuovattujen elementtien rakenneteräksen uudelleenkäytön.

On epätodennäköistä, että tämän oppaan puitteissa löydetään tai tarvitaan kylmämuovattujen teräselementtien hitsausta tulevaa käyttöä varten. Siksi toteutusprosessien arviointi voi liittyä vain kylmämuovattujen teräsrakenteen geometrisiin toleransseihin standardien EN 1090-4 ja EN1993-1-3 suositusten mukaisesti.

5.7.1 Kylmämuovattujen uudelleenkäyttöön tarkoitettujen teräsrakenteiden luokittelu

Rakennesuunnittelussa kantaviin tarkoituksiin käytettävät kylmämuovattujen teräsrakenteosot ja profiilit on luokiteltava lujuusvaatimusten ja mittojen mukaan. Tässä mielessä myös korroosiosuojajärjestelmän kontrollointi on osa kokonaisluokitusta.

Kohdan 5.4.1 mukaan uudelleenkäytettävä teräs on luokiteltava i) materiaalien suorituskykyvaatimusten (luotettavuuden arviointi) ja ii) laadunvarmistusvaatimusten mukaisen todentamisen perusteella siten, että teräs luokitellaan johonkin seuraavista luokista, eli luokkaan A, luokkaan B tai luokkaan C. Koska C-luokan uudelleenkäytettävien teräsrakenteiden osalta on todennäköisesti saatavilla laaja valikoima teräslajeja, ei ole suositeltavaa olettaa, että myötörajana ja vetolujuutena on yli 120 MPa ja 260 MPa.

Kylmämuovattujen teräsosien suojataan yleensä korroosiolta standardin EN 10346 mukaisilla metallipinnoitteilla (pinnoitemassan merkintä Z, ZM, ZA tai AZ) ja tarvittaessa standardin EN 10169 [37] mukaisella orgaanisella lisäpinnoitteella[37]. Pinnoitemassan määrittämiseen sovelletaan standardin EN 10346 [36] määräyksiä. Suoritettavien testien tyyppi ja laajuus on esitetty standardin EN 1090-4 taulukossa E.8.

5.7.2 Valinta- ja hyväksymisperusteet

Tämän ohjeen soveltamisalaan kuuluvien sekundääristen teräsrakenteiden eli orsien ja kiskojen uudelleenkäytettävyyden arvioimiseksi ehdotetaan seuraavia valinta- ja hyväksymiskriteerejä:

1. Komponenttien (sekundäärinen rakennejärjestelmän muodostava osa) tai sekundäärinen rakennejärjestelmän on oltava osa rakennusta, eikä niitä saa olla altistaa äärimmäisille olosuhteille.
2. Jokainen osa tulee purkaa, samalla kun vakaus varmistetaan. Sivuttaisvakautta tarjoavia osia ei saa purkaa ennen väliaikaisen jäykistyksen asentamista,
3. Teräsosien tulee pakata, käsitellä ja kuljettaa turvallisesti, jotta pysyviä muodonmuutoksia ei tapahdu ja pintavauriot minimoidaan. Tuotteet, joita on käsitelty tai varastoitu sellaisella tavalla tai niin kauan, että ne olisivat voineet johtaa merkittävään pilaantumiseen, on tarkastettava ennen käyttöä sen varmistamiseksi, että ne ovat edelleen asiaankuuluvien tuotestandardien mukaisia,
4. Ensin yksittäiset rakenneosat arvioidaan EN 1090-1 [7] mukaan
5. Kaikki uudelleenkäytettävä teräs on sertifioitava poikkileikkauksominaisuuksien mukaisesti ja luokiteltava tämän asiakirjan 5.4.1 kohdassa ehdotetun järjestelmän mukaisesti,
6. Jos alkuperäiset piirustukset puuttuvat, on mitattava kaikki komponenttien/rakenteen mitat sen tarkistamiseksi, että ne täyttävät poikkileikkauksen, osan tai rakennejärjestelmän tasolla standardin EN 1090-4

toleranssit. Kaikki poikkileikkauksen muodon ja mittojen todentamiseksi tehtävät mittaukset on tehtävä vähintään 250 mm:n etäisyydellä poikkileikkausten päistä, jotta päätylaippa ei vaikuta mittaustuloksiin. Ainevahvuudet on mitattava poikkileikkauksen tasaisilta sivuilta. Profiilien suoruus ja kiertyminen on tarkastettava tasaisella alustalla lepäävän osan koko pituudelta. Pituus mitataan suurimman pinnan keskilinjaa pitkin:

- a. Särmäyspuristimien tai kantatuiden osien olennaiset ja toiminnalliset valmistustoleranssit on esitetty standardin EN 1090-4 liitteessä D,
 - b. Rullamuovattuihin osiin, EN 10162 [72] Koskee. Reunajäkisteiden laipan korkeuden miinustoleranssin on oltava seuraavien vaatimusten mukainen: (1) kunkin yksittäisen reunajäkisteen laipan korkeuden miinustoleranssi ei saa olla suurempi kuin 10 % laipan nimelliskorkeudesta ja enintään miinus 2 mm; (2) Kaikkien reunajäkisteiden laipan korkeuden keskimääräinen toleranssi kullakin poikkileikkauksella kappaleen pituudella ei saa olla suurempi kuin puolet sallitusta miinustoleranssista yhden säteen ja vapaan reunan rajoittamien ulkomittojen osalta. Positiivinen toleranssi on toiminnallinen toleranssi,
 - c. Paksuus voidaan mitata mistä tahansa kohdasta, joka sijaitsee yli 40 mm:n etäisyydellä reunoista. Paksuuden toleranssien on oltava standardin EN 10143 taulukoissa 1–4 esitetyt [73] ja levittää koko pituudelta,
7. Tuotteen pinta on tarkastettava silmämääräisesti standardin EN 10346 kohtien 7.4–7.6 vaatimusten noudattamisen varmistamiseksi [36]. Pinnoitteen pinta voi vaihdella ja muuttua tummaksi hapettumisen seurauksena. Käytettävissä olevien pinnoitemassojen tulee olla standardin EN 10346 taulukon 11 mukaisia. NDT-testit on suoritettava pinnoitteen paksuuden tarkistamiseksi. Tarvittaessa on käytettävä standardin EN 10346 liitteessä A (Z, ZF, ZA ja AZ) tai liitteessä B (AS) kuvattuja menetelmiä,
 8. Uudelleenkäytettävä teräskomponentti tai rakenneosia voidaan CE-merkitä standardin EN 1090-1 mukaisesti.

5.7.3 Materiaalien suorituskykyä koskevat vaatimukset

Kylmämuovattujen osien arviointi sallitaan standardin EN 1090-4 lausekkeen 5.1 mukaan. Siinä todetaan, että *"Jos käytetään ainesosia, jotka eivät kuulu lausekkeessa 5.3 lueteltujen standardien piiriin, niiden ominaisuudet on täsmennettävä"*.

Seuraavat ominaisuudet tunnistettiin asianmukaisen arvioinnin edellyttämiksi:

- Myötöraja tai 0,2% - venymäraja ($R_{eH}/R_{p0.2}$) MPa:na;
- Vetolujuus (R_m) MPa:na;
- Murtuman jälkeinen venymä A_{80} mm prosentteina;
- Taivutussäteen ja ainevahvuuden suhde tarvittaessa;
- Metallipinnoitteen tarttuvuus;
- Mittojen ja muodon toleranssit, mukaan lukien vähimmäisainevahvuus;

Jos teräs hitsataan, sen hitsattavuus on ilmoitettava seuraavasti:

- teräksen hiilielkvivalentin enimmäisraja, tai
- Riittävän yksityiskohtainen ilmoitus sen kemiallisesta koostumuksesta, jotta sen hiilielkvivalentti voidaan laskea.

Edellä mainittujen ominaisuuksien lisäksi on arvioitava pinnoitemassa ja pinnoitteen paksuus.

Edellyttäen, että uudelleenkäytettävä teräs täyttää kaikki asiaankuuluvat materiaalivaatimukset ja valmistusprosessit ovat EN 1090 -standardien mukaisia, valmistusmenetelmissä, standardeissa tai toleransseissa ei ole eroja uuden ja uudelleenkäytettävän teräksen välillä. Siksi uudelleenkäytettävä teräs voidaan CE-merkitä EN 1090 -standardin mukaisesti.

Kylmämuovattujen teräsrakenteiden testausjärjestelmän tarkoituksena on mahdollistaa standardin EN 1090-4 lausekkeen 5.3 mukaisten tarvittavien materiaaliominaisuuksien ilmoittaminen mittatutkimuksen perusteella, ainetta rikkomattomilla testeillä, rikkovilla testeillä tai konservatiivisilla oletuksilla.

Nykyisen suunnitteluoppaan soveltamisalalla kylmämuovattujen elementtien nimellismyötörajan on oltava välillä 220 N/mm^2 ja 550 N/mm^2 . Pienimmän nimellisetolajuuden tulee olla välillä 300 N/mm^2 - 560 N/mm^2 . EN 1993-1-1 -standardin mukaisen suunnittelun sitkeysvaatimukset on esitetty Taulukko 5.1 (suositellut arvot, joita kansalliset liitteet voivat muuttaa).

5.7.4 Soveltuvuuden ja luotettavuuden arviointi

Kuumavalssattujen osien osalta kylmämuovattujen teräsrakenteen soveltuvuus ja luotettavuus on arvioitava, jotta voidaan varmistaa, että uudelleenkäytettävää tuotetta voidaan käyttää EN 1993-1-3 -standardin mukaisessa rakennesuunnittelussa. Liitteessä A ehdotetaan testausmenettelyä kylmämuovattujen osien soveltuvuuden ja luotettavuuden arvioimiseksi.

5.7.5 Kylmämuovattujen uudelleenkäytettävien tuoteominaisuuksien ilmoittaminen

Tässä luvussa esitetään yhteenveto teräksen ominaisuuksista, jotka on arvioitava uudelleenkäytettävien kylmämuovattujen teräsosien osalta standardin EN1090-4 kohdan 5.3 mukaisesti (ks. Taulukko 5.12). Näistä ominaisuuksista annetaan myös lisäkommentteja.

Taulukko 5.12 Standardin EN 1090-4 kohdan 5.3 mukaisesti ilmoitettavat materiaaliominaisuudet

Ominaisuus	Ilmoitetaan	Menettely
Myötöraja tai 0,2% - venymäraja ($R_{eH}/R_{p0.2}$)	Kyllä	Määritetään rikkomattomilla ja rikkovilla testeillä.
Vetolujuus (R_m)	Kyllä	Määritetään rikkomattomilla ja rikkovilla testeillä.
Venymä murtuman jälkeen A_{80} mm %	Kyllä	Määritetty tuhoavilla testeillä.
Mittojen ja muodon toleranssit, mukaan lukien vähimmäisainevahvuus	Kyllä	Perustuu mittatutkimukseen.
Taivutussäteen ja ainevahvuuden suhde tarvittaessa	Tarvittaessa	Tarvittaessa määritetään rikkovilla testeillä.
Metallipinnoitteen koostumus, kerrosmassa ja ainevahvuus	Kyllä	Tarvittaessa määritetään ainetta rikkomattomilla tai rikkovilla testeillä ja silmämääräisellä tarkastuksella
Metallipinnoitteen tarttuvuus	Kyllä	Perustuu silmämääräiseen tarkastukseen
Lisäksi, jos teräs hitsataan, sen hitsattavuus on ilmoitettava seuraavasti:		
Ominaisuus	Ilmoitetaan	Menettely
teräksen hiiliiekvivalentin enimmäisraja, tai	Tarvittaessa (ei yleensä vaadita,	Valmistajan testaustodistuksista ilmoitettava enimmäismäärä.
Riittävän yksityiskohtainen ilmoitus sen kemiallisesta koostumuksesta, jotta sen hiiliiekvivalentti voidaan laskea	koska hitsausmenetelmiä ei useinkaan käytetä)	Määritetään rikkomattomilla ja rikkovilla testeillä.

Myötöraja, vetolujuus ja venymä

EN 10346 mukaan [36], vetokokeet on suoritettava ilman pinnoitusta saman standardin taulukoissa 7–11 ja 7.2.5.2 kohdan mukaan.

Geometriset toleranssit ja rajoitukset

Geometriset toleranssit on oltava standardin EN 10143 mukaisia [73]. EN 1993-1-3 määrittelee kylmänmuovattujen teräsosien vähimmäisainevahvuudet. Myös standardin EN 1090-4 suosituksia on noudatettava.

Taivutussäteen ja ainevahvuuden suhde ja metallipinnoitteen tarttuvuus

Koska uudelleenkäytettävä teräsrakenne on jo muokattu, jokaiselle talteen otettavalle osalle on tehtävä silmämääräinen tarkastus mahdollisten halkeamien ja metallipinnoitteen tarttuvuuden arvioimiseksi taivutusalueen lähellä. Tämän tavoitteena on havaita "täydellistä" heikompi tartunta (katso lisätietoja liitteestä A).

Metallipinnoitteen koostumus ja kerrosmassa

Metallipinnoitteen koostumus on määriteltävä standardin EN 10346 mukaisesti. Standardin EN 10346 3 kohdassa määritellään kunkin pinnoitetyypin tärkeimmät kemialliset

komponentit. Pinnoitekerroksen massan arvioinnissa on otettava huomioon standardin EN 10346 kohta 7.3 (ks. myös liite A).

Kemiallinen koostumus

Kylmämuovatuissa tuotteissa voidaan käyttää standardia EN 10346, jossa taulukossa 2 esitetään rakennusterästen kemiallinen koostumus. Tämän perusteella on mahdollistaa hiiliiekvivalenttiarvon (CEV) laskeminen, joka on hitsattavuuden keskeinen mittari. Uudelleenkäytettävää kylmämuovattua teräsrakennetta ei hitsata, kemiallista koostumusta ei tarvitse arvioida (katso lisätietoja liitteestä A).

5.7.6 Kestävyys

Purkaminen voi vahingoittaa teräsrakennetta ja erityisesti pinnoitetta. Teräsrakenne menettää pinnoitemassaa ajan myötä (riippuen rakennuksen sijainnista). Tämä tarkoittaa, että pinnoitemassa myöhempien elinkaaren aikana pienenee, mikä heikentää teräsrakenteen kestävyttä. Sen vuoksi on tarpeen, että testiprotokollassa arvioidaan uudelleenkäytettävän kylmämuovattun teräsrakenteen jäljellä oleva/käytettävissä oleva pinnoitemassa.

5.8 Liittvälipohja teräksisellä liittolevyllä

Liittvälipohjaa teräksisellä liittolevyllä käytetään laajalti rakenneratkaisuna, jossa yhdistyvät teräksen ja betonin parhaat ominaisuudet. Sen tärkein etu on sen kyky luoda kevyt, vahva ja kestävä järjestelmä, joka nopeuttaa rakentamista ja tarjoaa samalla korkean suorituskyvyn kantavuuden ja palonkestävyyden suhteen. Teräksen ja betonin pysyvän yhdistelmän vuoksi näitä ei voida käyttää uudelleen alkuperäisessä muodossaan rakentamisen jälkeen. Sekä terästä että betonia voidaan kuitenkin kierrättää, vaikka suora uudelleenkäyttö ei olisikaan mahdollista.

5.9 Julkisivut

Sandwich-panelit kuuluvat standardin EN 14509 *Itsekantavat metalliohutelevypintaiset eristävät sandwich-elementit. Tehdasvalmisteiset tuotteet. Tuotestandardi* [74] piiriin. Vuoden 2004 jälkeen valmistetuissa paneleissa keskeiset tiedot ovat saatavilla panelissa olevasta merkinnästä, joka sisältää valmistajan, valmistuspäivämäärän ja panelin tiedot, mukaan lukien eristetyypin. Vuodesta 2000 lähtien pentaania on käytetty uretaaniytimen vaahdotusaineena, eikä se sisällä CFC:tä (kloorifluorihilivety) tai H-CFC:tä (osittain halogenoitua kloorifluorihilivetyä).

Katto- ja julkisivuprofiilit kuuluvat EN 14782 -standardin piiriin – *Itsekantavat metalliset ohutelevytuotteet vesikattoihin, ulko- ja sisäseinien verhouksiin. Tuoteominaisuudet ja vaatimukset* [75].

Sandwich-panealien uudelleenkäyttömahdollisuuksien arvioimiseksi on olemassa suosituksia. Uudelleenkäytön turvallisuusnäkökohtien arvioinnissa käytetään olennaisten ominaisuuksien testaustyyppissä standardin EN 1990 (varmuuskertoimet) ja yhdenmukaistetun tuotestandardin EN 14509 sääntöjä. Perusvaatimus rajoitetulle määrälle testejä on, että valmistajan nimi on tiedossa ja että myös asiakirja alkuperäisistä ilmoitetuista arvoista (valmistajan ilmoittamista arvoista) on tiedossa. Tämä voi rajoittaa suppeamman testausohjelman käyttöä yli 25 vuotta vanhoille paneeleille, koska yleisesti

tunnettuja sääntöjä ei ole, elleivät ne ole tuotettu kansallisten tyyppihyväksyntöjen mukaisesti jo olemassa olevalla testauksella ja kolmannen osapuolen valvonnalla. Muissa tapauksissa suositellaan täydellistä testausta standardin EN 14509 sääntöjen mukaisesti.

Sandwich-paneelien uudelleenkäyttömahdollisuuksien arviointi on seuraava:

- Arkkitehtoninen tai esteettinen
- Suorituskykyyn perustuva; olennaisten ominaisuuksien arviointi standardin EN 14509 mukaisesti.

Tätä tarkoitusta varten havaitaan visuaalisesti pinnan värinmuutokset tai pinnan vauriot.

5.9.1 Valinta- ja hyväksymisperusteet

Testauksen perusteella ilmoitettavat ja määritettävät paneelien mekaaniset ominaisuudet ovat standardin EN 14509 mukaisia:

- lommahduslujuus,
- leikkauslujuus ja liukukerroin,
- virumiskerroin (vain pysyville kuormille),
- puristuslujuus ja puristuskimmokerroin,
- vetolujuus ja vetokimmokerroin,
- kestävyysominaisuudet,
- Toleranssit.

Mekaanisten ominaisuuksien vertailutaso on arvot, jotka valmistaja on ilmoittanut paneelien toimitushetkellä. Tätä vertailutasoa kutsutaan edelleen nollatasoksi.

Paneelin mekaanisten ominaisuuksien mahdollisen heikkenemisen arviointi arvioidaan ensin vertaamalla vetolujuuden tasoa nollatasoon. Jos havaitaan huomattavaa heikkenemistä (yli 10 % pienempi ominaisarvo ilmoitettuun arvoon verrattuna), testataan paneelin leikkauslujuus ja puristuslujuus. Paneelin leikkauslujuuden ominaisarvo, joka määritetään irrotetuista paneeleista otetuista näytteistä, on arvo, jota käytetään suunnittelussa paneelien uudelleenkäytön yhteydessä.

Liukukertoimen keskiarvo mitataan uudelleenkäytettävistä paneeleista. Lommahduslujuuden, puristuslujuuden ja puristuskimmokertoimen osalta alun perin ilmoitettuja arvoja vähennetään ominaisleikkauslujuuden ja alun perin ilmoitetun leikkauslujuuden suhteella. Tämä menettely on konservatiivinen, koska kokemus osoittaa, että ikääntyminen vaikuttaa enimmäkseen paneelin vetolujuuteen ja paneelin leikkauslujuuteen. 1990-luvun lopulla irrotettujen paneelien testauksesta saadut tulokset osoittavat, että lommahduslujuuden ikääntymisnopeus on noin puolet leikkauslujuuden ikääntymisestä. Materiaalien varmuuskertoimien ehdotetaan olevan samat kuin alkuperäisissä testeissä.

Näytteistä testataan vetolujuus EN 14509 kohdan A1 mukaisesti. Näytteiden lukumäärän tulisi olla vähintään 3 ja enintään 10, mikä lisää tulosten tarkkuutta. Näytteiden tiheys mitataan näytteistä, jotka on otettu testattavien vetolujuus-näytteiden vierestä.

5.9.2 Vetolujuus ja tiheys

Vetolujuuden ominaisarvoa verrataan alkuperäiseen ilmoitettuun arvoon. Jos vetolujuuden heikennys on alle 10 %, paneelit voidaan käyttää uudelleen käyttämällä alun perin

ilmoitettuja ominaisuuksia kaikille mekaanisille lujuusominaisuuksille. Jos vetolujuuden arvo on yli 10 %, on otettava joukko näytteitä leikkauslujuuden ja vetokimmokertoimen sekä puristuslujuuden ja puristuskimmokertoimen testaamiseksi. Kussakin on otettava vähintään 3 näytettä, mieluiten 5 leikkauslujuustestiä ja 10 puristuslujuustestejä varten.

5.9.3 Leikkauslujuus

Leikkauslujuus ja liukukerroin testataan irrotetuista paneleista otetuista näytteistä. Jos vetolujuuden heikkeneminen on enintään 10%, suoritetaan yksi leikkauslujuuskoe. Testituloksen on oltava vähintään sama kuin ilmoitettu arvo. Jos poikkipaneelin vetolujuus on heikentynyt yli 10 % verrattuna alkuperäiseen ilmoitettuun vetolujuuteen, testit suoritetaan koko laajuudessa. Ominaisarvo lasketaan leikkauslujuudelle. Tätä arvoa käytetään uudelleenkäytettävien panelien suunnitteluun.

5.9.4 Puristuslujuus

Puristuslujuus testataan irrotetuista paneleista otetuista näytteistä. Testit suoritetaan, jos vetolujuus on heikentynyt yli 10 % verrattuna alkuperäiseen ilmoitettuun vetolujuuteen. Ominaisarvo lasketaan puristuslujuudelle. Tätä arvoa käytetään uudelleenkäytettävien panelien suunnitteluun.

5.9.5 Taivutusmomentti/lommahduslujuus

Taivutusmomentissa tai lommahduslujuudessa voidaan käyttää alun perin ilmoitettua arvoa, jos vetolujuuden heikkeneminen on alle 10 %. Jos heikkeneminen on suurempi, joko lommahduslujuutta pienennetään samalla suhteella kuin leikkauslujuutta verrattuna alun perin ilmoitettuun leikkauslujuuteen tai lommahduslujuus testataan irrotetuille paneelille. Testitulosten ominaisarvoa käytetään sitten suunnittelussa, kun paneleja käytetään uudelleen.

5.9.6 Materiaalien turvallisuustekijät

Käytetään alkuperäisessä tyyppitestauksessa määritettyjä materiaaliturvallisuusarvoja. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää irrotettavien panelien testeissä määritettyjä turvallisuusarvoja, jotka on laskettu standardin EN 14509 A.16 kohdan mukaisesti.

5.9.7 Kestävyys/ikäntymisominaisuudet

Testaus on toistettava vain, jos vetolujuus heikkenee yli 10%. Tällöin vaaditaan vain lyhytaikainen ikääntymistesti (14 päivää, ks. EN 14509 liitteen B B.2.4 kohta kaikille muille ydintyypeille kuin mineraalivillalle ja 7 päivää mineraalivillaytimelle, katso EN 14509 liite B, kohta B.3.4). Mineraalivillaa sisältävien panelien ominaisuuksien heikkenemisen on oltava alle 15 % ja kaikkien muiden tyyppien osalta alle 17 %.

5.9.8 Toleranssit

Toleranssit on tarkastettava silmämääräisesti, ja jos poikkeamia havaitaan, panelit tarkistetaan, että ne soveltuvat uudelleenkäyttöön.

5.9.9 Lämpökäyttäytyminen

Jos suljettujen solujen suhde sandwich-paneleille, joissa on polyuretaaniydin (PU), pienenee (ks. ISO 4590) yli 10 prosenttia, lämmönjohtavuus on testattava uudelleen ja määritettävä uusi suunnitteluarvo (EN 14509, kohta A.10).

5.9.10 Paloturvallisuus

Panelit, joiden ydinmateriaalit käyttävät palonsuoja-aineita, on testattava uudelleen palonlevittämisen varalta, jotta voidaan tarkistaa, että palonestoaineiden vaikutus on edelleen aktiivinen. Muussa tapauksessa uudelleenluokittelu saattaa olla tarpeen.

5.9.11 Uudelleenkäytön sertifiointi

Yhteenveto sandwich-panealien uudelleenkäyttöä koskevista arviointi- ja sertifiointimenettelyistä on esitetty Taulukko 5.13.

Taulukko 5.13 Yhteenveto sandwich-panealien uudelleenkäytön arviointimenettelyistä

Arviointiperusteet	Ominaisuus
Mekaaninen lujuus	
Poikkipaneelin vetolujuuden testaus 3 näytettä, vähintään (EN 14509, A1): Laske vetolujuuden ominaistulos. Yhden näytteen leikkauslujuuden testaus (EN 14509, A.3 tai A.4)	
1. Vetolujuus Todellinen arvo $\geq 0.9 \times$ Ilmoitettu arvo ja	Jos KYLLÄ, lisätutkimuksia ei tarvita. Kaikkia ilmoitettuja mekaanisen lujuuden arvoja voidaan käyttää.
2. Leikkauslujuus Todellinen arvo $\geq 0.9 \times$ Ilmoitettu arvo	Jos EI, uudet ilmoitetut arvot määritetään standardin EN 14509 mukaisella testiohjelmalla i) vetolujuudelle, ii) puristuslujuudelle ja iii) leikkauslujuudelle. Lomahduslujuus pienenee samalla määrällä kuin leikkauslujuus pienenee.
Kestävyys/ikäntyminen	
Vetolujuus Todellinen arvo $\geq 0.9 \times$ Ilmoitettu arvo	Jos KYLLÄ, lisätutkimuksia ei tarvita. Panelit ovat käyttökelpoisia. Jos EI: Mineraalivilla-panelit: 7 päivän testaus (katso EN 14509 lauseke B.3.4) on tehtävä. Vetolujuuden pieneminen ikääntymisen jälkeen saa olla enintään 15 prosenttia vetolujuuden keskiarvosta ympäristön lämpötilassa Kaikkien muiden panelityyppien osalta: Standardin EN 14509 liitteen B.2 mukaista menettelyä noudatetaan siten, että paneleja testataan 14 päivää kohdassa B.2.4 kuvatussa lämpötilassa. Vetolujuuden pieneminen vanhentamisen jälkeen saa olla enintään 17 prosenttia vetolujuuden keskiarvosta ympäristön lämpötilassa
Toleranssit	
Vauriot arvioidaan silmämääräisillä tarkastuksilla	Jos vakavia vaurioita tai vikoja ei löydy, panelia voidaan käyttää uudelleen. Jos havaitaan vakavia vaurioita, jotka heikentävät lujuutta, eristyskäyttäytymistä tai liitosten tiiviyyttä, kyseiset panelit hylätään.
Kosteuspitoisuus	
Ydinmateriaalin kosteus	Jos ydinmateriaalista ei löydy merkittävää märkyyttä, panelit voidaan käyttää uudelleen
Terminen käyttäytyminen	

PU-paneeleille: 1. Suljettujen solujen suhde Todellinen arvo $\geq 0.9 \times$ Tyyppitestauksella saatu arvo ja 2. Tiheyden muutos $< 10 \%$	Jos KYLLÄ, lisätestejä ei tarvita; alkuperäistä lämmönjohtavuusarvoa voidaan käyttää.
Paloturvallisuus	
Palotestit, katso standardin EN 14509 kohta C.1.2	Testit tehdään ydinmateriaalilla, mukaan lukien palonestoaineet. Luokitus tarkistetaan ja tarvittaessa luokitellaan uudelleen. Paneelit ovat käyttökelpoisia ja täyttävät projektin vaatimukset uudelleenkäytölle.

6 OLEMASSA OLEVIENTERÄSRAKENTEIDEN RAKENNEANALYYSI JA SUUNNITTELU

Tässä osiossa käsitellään useita näkökohtia, jotka voivat vaikuttaa uudelleenkäytettäviä teräsosia käyttävien rakenteiden suunnitteluun. Rajatilan suunnittelun periaatteita on noudatettava ja standardin EN 1993 osissa 1.1 ja 1.8 annettuja vastuksia ja käyttökelpoisuutta koskevia sääntöjä voidaan soveltaa käyttämällä resistanssin osittaiskertoimia γ_M ja samoja analyysi- ja suunnittelumenetelmiä.

Uudelleenkäytetyistä teräsosista valmistettujen (tai sisältävien) rakenteiden on täytettävä samat peruseräaatteet kuin standardissa EN 1990. Rakenne on suunniteltava ja rakennettava jäljellä olevaksi suunnitelluksi käyttöäksi seuraavien edellytysten mukaisesti:

- Älä tee toimenpiteitä, jotka aiheutuvat rakennusosan resistanssin perusteella,
- Huolehdi käyttökelpoisuudesta huollettavuuden ja kestävyuden suhteen,
- Täytä nykyaikaiset määräykset rakenteellisen eheyden suhteen.

Eurooppalaisessa käytännössä muut rakennukset kuin maatalousrakennukset, väliaikaiset ja monumentaaliset rakennukset on suunniteltu 50 vuoden käyttöikään, mikä näkyy standardissa EN 1991 esitettyissä toimien ominaisarvoissa ja näihin toimiin sovelletuissa osittaisissa tekijöissä. Käyttöajan pituus vaikuttaa toimenpiteiden vaikutusten suunnitteluarvoihin, mutta ei alla esitettyihin kestävyys- ja käyttökelpoisuustodentamisiin.

Sitkeyden ja kovuuden on oltava riittävä, jotta rakenne toimii tarkoitetulla tavalla. Tyypillisissä suunnitteluoletuksissa ja Eurocode-menettelyissä oletetaan vähimmäissitkeys, jotta kompaktit taivutusosat voivat saavuttaa profiilin plastisen kapasiteetin ja mahdollistaa paikallisen vetolujuuden ilman murtumista äärioloissa. Itse asiassa suunnittelija luottaa sitkeyteen useissa suunnittelun osa-alueissa, mukaan lukien jännityksen uudelleenjakautuminen murtorajatilassa (ULS), pulttiryhmiä suunnittelussa sekä hitsauksen, taivutuksen ja oikaisun valmistusprosessissa. Rakennesuunnittelussa, jossa käytetään uudelleenkäytettävää terästä, mahdollinen sitkeyden vähennys voidaan yleensä jättää huomiotta. Tämä johtuu siitä, että normaaleissa olosuhteissa venymätarve on tyypillisesti alle 1,5 %, eivätkä nämä alhaiset venymätasot vaikuta merkittävästi rakenteelliseen suorituskykyyn.

Useimmissa tapauksissa kierrätettyjen teräsosien voidaan odottaa toimivan uudelle teräkselle tarkoitetulla tavalla ottamatta huomioon materiaaliominaisuuksien muutoksia. Geometriset epätarkkuudet voivat kuitenkin vaikuttaa kappaleen nurjahduskestävyyttä, ja siksi voi olla tarpeen lisätä asiaankuuluvaa osittaista kerrointa.

6.1 Luotettavuuden saavuttaminen

Osavarmuuslukumenetelmän soveltaminen edellyttää toimintojen suunnitteluarvojen, materiaalien ja tuotteiden ominaisuuksien, geometrinen tietojen ja mallin epävarmuuksien määrittelyä. Toimenpiteiden suunnitteluarvot, Q_d , saadaan ominaisarvoista Q_k , jotka perustuvat 50 vuoden referenssikäyttöikään ja vastaavaan tavoiteluotettavuuteen. Luotettavuusindeksin β tavoitearvo liittyy tiettyä viiteajanjaksoa vastaavaan vaurioitumistodennäköisyyteen P_f seuraavasti:

$$P_f = \Phi(-\beta) \quad (6.1)$$

jossa $\Phi(\cdot)$ on normaali kumulatiivinen todennäköisyysjakauma.

Rakenteisiin kohdistuvat toimet on määritelty standardissa EN 1991-1-1 [10]. Omapainot ja kuormitukset eivät ole herkkiä vertailujaksolle, joten normaalia 50 vuoden vertailujaksoa voidaan edelleen käyttää. Lumikuormien ja tuulen vaikutuksen osalta EN 1991 antaa mukautetut arvot muille viitejaksoille kuin standardin EN 1991-1-3 liitteessä D [11] lumikuormien osalta standardin EN 1991-1-4 4.2 kohdan huomautus 4 [12] tuulikuormille.

EN 1990 [9] määrittelee viisi seuraamusluokkaa (CC) rakenteen vikaantumisen tai toimintahäiriön seurauksista riippuen ja antaa suunnittelusäännöt kolmelle niistä seuraavasti:

- CC0: *erittäin vähäiset seuraukset ihmishenkien menetysten osalta tai taloudelliset, sosiaaliset tai ympäristöön liittyvät seuraukset merkityksettömät,*
- CC1: *Seuraamusluokkaan CC1 kuuluvat rakennukset ja rakenteet, joilla voi olla vähäisiä seuraamuksia ihmishenkien menetysten tai pienten tai merkityksettömien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia, $\beta_{50\text{-year}} = 3.3$,*
- CC2: *Seuraamusluokkaan CC2 kuuluvat rakennukset ja rakenteet, joilla voi olla keskiuuria seuraamuksia ihmishenkien menetysten tai merkittävien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia. Luokkaan kuuluvat rakennukset ja rakenteet, jotka eivät kuulu luokkiin CC3 tai CC1, $\beta_{50\text{-year}} = 3,8$,*
- CC3: *Seuraamusluokkaan CC3 kuuluvat rakennukset ja rakenteet, joilla voi olla vakavia seuraamuksia ihmishenkien menetysten tai hyvin suurten taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia, $\beta_{50\text{-year}} = 4.3$.*

On myös huomattava, että mallit, joissa käytetään eurokoodeissa annettuja osavarmuuskertoimia, johtavat yleensä rakenteeseen, jonka arvo on suurempi kuin 3,8 50 vuoden viiteajanjaksolla.

Rakenteen suunniteltu käyttöikä ei ole nimenomaisesti sidoksissa EN 1990 -standardin seuraamusluokkaan, ja se voidaan ymmärtää ajanjaksoksi, jonka aikana rakennetta on tarkoitus käyttää aiottuun tarkoitukseen ennakoidun huollon kanssa, mutta ilman suuria korjauksia. Standardin EN 1990:2023 liitteessä A.1.4 esitetään seuraavat luokat sekä pysyvien rakenteiden suunniteltu käyttöikä:

- Maatalousrakennukset ja vastaavat rakenteet / vaihdettavat rakenneosat, joiden suunniteltu käyttöikä on 25 vuotta (luokka 2),
- rakennukset, jotka eivät kuulu muuhun luokkaan ja joiden suunniteltu käyttöikä on 50 vuotta (luokka 3),
- Monumentaaliset rakennukset, joiden suunniteltu käyttöikä on 100 vuotta (luokka 4).

Rakenteita tai rakenteiden osia, jotka voidaan purkaa uudelleenkäyttöä varten, ei pitäisi luokitella väliaikaisiksi rakenteiksi.

Eurokoodien mukaisesti suunniteltujen rakenteiden odotetaan toimivan ja pysyvän kunnossa asianmukaisen suunnittelun käyttöajan ajan. Tyypillisten rakennusten käyttöikä on yleensä 50 vuotta eli luokka 3, joka vastaa luotettavuus indeksi $\beta_{50\text{-year}} = 3.8$ tai $\beta_{1\text{-year}} = 4.77$, mikä vastaa epäonnistumisen todennäköisyyttä $\sim 10^{-4}$ /vuosi. Jos rakenne on tarkoitettu lyhyempään käyttöikänsä, alhaisempi luotettavuusindeksi voi olla perusteltu. Tämä vastaisi $\beta_{50\text{-year}} < 3.8$ 50 vuoden ajaksi. ISO 13822 -standardin mukaan [76]mukaan $\beta_{50} \geq 2.3:n$

vähimmäisarvoa olisi edelleen käytettävä ihmisten turvallisuuden varmistamiseksi. Päinvastoin, jos suunniteltu käyttöikä pidennetään esimerkiksi 100 vuoteen, $\beta_{50\text{-year}} > 3.8$ olisi tarkoituksenmukaista, koska se heijastaisi suurempaa luotettavuusvaatimusta 50 vuoden viiteajanjaksolla. On huomattava, että nämä β -arvot ovat suunnittelussa käytettyjä tavoitearvoja yhdenmukaisen luotettavuuden varmistamiseksi. Ne edustavat teoreettisia vertailuarvoja, eivätkä ne välttämättä kuvasta todellisia epäonnistumisprosentteja.

Gulvanessian et al. [77] selittää selkeästi, että β indeksejä käytetään toiminta-arvoina koodien kalibroinnissa ja rakenteiden luotettavuustasojen vertailussa, jotka luonnollisesti riippuvat suunnitellusta käyttöiästä ja joita käytetään koko järjestelmässä *toimet – resistanssi – osavarmuuskertoimet*.

Erilaisia toimenpiteitä riskien vähentämiseksi voidaan vaihtaa rajoitetusti edellyttäen, että vaadittu luotettavuustaso säilyy. Uudelleenkäytettävää terästä suunniteltaessa voi olla tarpeen kompensoida hieman pienempi osavarmuuskerroin rakenteen korkeatasoisella laadunhallinnalla, valvonnalla ja tarkastuksella. Tämä on esimerkki luotettavuuden erottamisesta laatutasojen vaatimusten mukaan.

Luotettavuuden differentiointia voidaan soveltaa myös (i) kuormien γ_F osavarmuuslukujen tai (ii) kestävyuden osavarmuuslukujen γ_M avulla, jota käsitellään tarkemmin seuraavaksi. Ensimmäinen vaihtoehto on yleensä parempi.

6.1.1 Osavarmuusluvut kuormille

Kuormien osavarmuusluvut mahdollistavat kuormituksen vaihtelun huomioon ottamisen suunnittelussa. Useimmissa tapauksissa vaurioitumisen todennäköisyys kasvaa odotettua enemmän, mutta suunniteltua pienemmällä kuormituksella, joka torjuu vääntömomenteja, voi myös olla sama vaikutus vaurioitumisen todennäköisyyteen.

Pysyvissä ja ohimenevissä (perustavanlaatuisissa) suunnittelutilanteissa harkittaviin toimiin olisi sisällyttävä seuraavat:

- johtavan muuttuvan kuorman suunnittelu-arvo;
- mukana olevien muuttuvien kuormien yhdistelmäarvot.

Sovellettaessa osavarmuuskertoimia kuormiin, kuormien yhdistelmät ΣF_d pysyvissä ja ohimenevissä (perustavanlaatuisissa) suunnittelutilanteissa olisi laskettava standardin EN1990:2023 mukaisesti jollakin seuraavista:

- standardin EN 1990:2023 kaava (8.12) tai jäljempänä (6.2); tai
- epäsuotuisin standardin EN 1990:2023 kaavan (8.13) tai jäljempänä (6.3) esitetyistä kahdesta ilmaisusta; tai
- epäsuotuisin standardin EN 1990:2023 kaavan (8.14) tai jäljempänä (6.4) esitetyistä kahdesta ilmaisusta.

$$\Sigma F_d = \sum_i \gamma_{G,i} G_{k,i} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{j>1} \gamma_{Q,j} \psi_{0,j} Q_{k,j} \quad (6.2)$$

tai

$$\Sigma F_d = \begin{cases} \sum_i \gamma_{G,i} G_{k,i} + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{j>1} \gamma_{Q,j} \psi_{0,j} Q_{k,j} \\ \sum_i \xi_i \gamma_{G,i} G_{k,i} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{j>1} \gamma_{Q,j} \psi_{0,j} Q_{k,j} \end{cases} \quad (6.3)$$

tai

$$\Sigma F_d = \left\{ \begin{array}{l} \sum_i \gamma_{G,i} G_{k,i} \\ \sum_i \xi_i \gamma_{G,i} G_{k,i} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{j>1} \gamma_{Q,j} \psi_{0,j} Q_{k,j} \end{array} \right. \quad (6.4)$$

missä

F_d	edustaa kuorman suunnitteluarvoa;
Σ	tarkoittaa mukana olevien muuttujien yhdistelmää;
$\gamma_{G,i}$	on osavarmuusluku pysyville kuormille i ;
$G_{k,i}$	on ominaisarvo pysyville i ;
$\gamma_{Q,1}$	on osavarmuusluku määräävälle muuttuvalle kuormalle 1;
$\psi_{0,1}$	on yhdistelmäkerroin määrääville muuttuville kuormille 1 (jos sitä käytetään);
$Q_{k,1}$	on ominaisarvo muuttuville kuormille;
$Q_{k,j}$	on ominaisarvo muuttuville yhdistelmäkuormille j ;
$\psi_{0,j}$	on yhdistelmäkerroin muuttuville kuormille j ;
$\gamma_{Q,j}$	on osavarmuusluku muuttuville kuormille j ;
ξ	on pysyviin kuormiin sovellettava vähennyskerroin; arvo on 0,85, ellei kansallisissa liitteissä anneta muuta arvoa.

Edellyttäen, että sen variaatiokerroin on pieni, pysyvää kuormaa G tulisi esittää yhdellä ominaisarvolla G_k k . Jos käytetään yhtä G_k :n ominaisarvoa, sen arvoa voidaan pitää G :n keskiarvona. Jos G :n epävarmuus ei ole pieni tai jos rakenne on herkkä arvonsa tai alueellisen jakautumisensa vaihteluille, pysyvää toimintaa G tulee edustaa ylemmän ja alemman ominaisarvona $G_{k,sup}$ ja $G_{k,inf}$. Ylempi (tai "parempi") ominaisarvo $G_{k,sup}$ tulee valita 95 %:n fraktiiliksi ja alempi (tai "alempi") ominaisarvo $G_{k,inf}$ G :n tilastollisen jakauman 5 %:n fraktiiliksi.

Murtorajatilassa yhdistelmäkuormien osavarmuusluvut olisi valittava suunnittelutilanteen mukaan seuraavasti EN1990:2023::

- taulukko A.1.3 käytettäessä kaavaa (8.12); tai
- taulukko A.1.4 käytettäessä kaavaa (8.13); tai
- Taulukko A.1.5, käytettäessä kaavaa (8.14).

Jos pysyviä ja ohimeneviä (perustavanlaatuisia) suunnittelutilanteita koskevien kuormien suunnitteluarvot valitaan standardin EN 1990:2023 taulukon A.1.4 tai taulukon A.1.5 mukaisesti, on tarkistettava haitallisin kahdesta lausekkeesta asiaankuuluvassa kuormien yhdistelmää koskevassa kaavassa.

On yleinen käytäntö alentaa vaadittua turvallisuustasoa olemassa olevien rakenteiden arvioinnissa ja päivittämisessä, kunhan ihmisten turvallisuuden rajat eivät ylity, katso viitteet. [78] ja [79]. Tämä on perusteltua sillä, että olemassa oleville rakenteille oletetaan ja hyväksytään usein lyhyempi suunnitteluikä. Vastaavasti uudelleenkäytettävää terästä sisältävien rakenteiden osalta on järkevää harkita mahdollisuutta olettaa lyhyempi suunniteltu käyttöikä, esimerkiksi 15–30 vuotta (luokka 2 edellä).

6.1.2 Toteuttamiskelpoiset skenaariot lyhyemmän käyttöiän käyttöön ottamiseksi

Edellisessä jaksossa ehdotettiin, että kuormien yhdistelmäkertoimia voitaisiin hieman pienentää suunniteltaessa uudelleenkäytettävästä teräksestä olettaen, että sen odotettu

käyttöikä on lyhyempi. On suositeltavaa, että tämä vaihtoehto edellyttää korkeatasoisempaa laadunhallinnan valvontaa ja rakenteen tarkastusta.

Uuden rakennuksen on täytettävä standardin EN 1990 luotettavuusvaatimukset (vaikka käytettäisiin yksittäisiä uudelleenkäytettäviä elementtejä). Esimerkkejä, joissa voidaan käyttää pienempiä osittaisia kertoimia 15–30 vuoden laskennallisen käyttöiän osalta, ovat i) olemassa olevien rakennusten jälkiasennus tai ii) tapaukset, joissa koko rakennus siirretään toiseen paikkaan.

Suunniteltaessa uutta rakennetta teräksen uudelleenkäyttöä edistäen on mahdollista säätää rakenteellista asettelua, kuten lattiapalkkien tai runkojen etäisyyttä, jotta uudelleenkäytettävien osien kuormitusvaikutukset pysyvät hyväksyttävissä rajoissa. Näin rakenne voi täyttää standardin EN 1990 mukaiset luotettavuusvaatimukset, joiden nimellinen käyttöikä on 50 vuotta. Tämä lähestymistapa mahdollistaa Eurokoodin suunnitteluprosessin noudattamisen ja ottaa huomioon uudelleenkäytettyjen teräsosien luontaisen vaihtelun.

6.1.3 Poikkileikkauskestävyyden osavarmuusluku

Standardissa EN 1993-1-1 määritellyt osavarmuusluvut on tiivistetty Taulukko 6.1. Poikkileikkauskestävyyden ominaisarvot jaetaan asiaankuuluvilla osavarmuusluvuilla niiden suunnitteluarvojen saamiseksi. Nämä arvot ovat kansallisesti määritettyjä parametreja, ja niitä voidaan muuttaa kansallisessa liitteessä, jota käytetään standardin EN 1993-1-1 täytäntöönpanoon kussakin maassa, katso Taulukko 6.2. Näissä taulukoissa esitetyt arvot on annettu uusille teräksille, ja ne on saatu vuosina 1969-1980 kerätyistä testitiedoista, ks. [80] ja [81] ja myöhemmin vuonna 2002 [82].

Uudelleenkäytettävän teräksen käyttö on rajoitettu vuoden 1970 jälkeen valmistettuihin ja rakennettuihin rakennuksiin. Näin ollen on epätodennäköistä, että teräksen ominaisuudet poikkeavat niistä teräksistä, joita käytetään poikkileikkaustarkastelun osavarmuuslukuja kalibroinnissa, γ_{M0} ja γ_{M2} . Molemmat tekijät ottavat huomioon materiaalin lujuuden vaihtelun, joten teräksen lujuus todellisessa rakenteessa voi poiketa laskelmissa käytetystä lujuudesta. Suunnittelija voi turvallisesti omaksua samat Taulukko 6.1 arvot γ_{M0} and γ_{M2} suunnittelussa.

Taulukko 6.1 Osavarmuusluvut poikkileikkauskestävyydelle standardissa EN 1993

	Osittainen tekijä	Suosittelun (CEN) arvo
γ_{M0}	poikkileikkauskestävyyden osavarmuusluku poikkileikkausluokasta riippumatta;	1.00
γ_{M1}	sauvojen kestävyyden osavarmuusluku, kun laskelmat tehdään sauvan stabiiliuden tarkastuksena;	1.00
γ_{M2}	poikkileikkausten kestävyys vetomurtuman suhteen;	1.25

Taulukko 6.2 Osavarmuusluvut poikkileikkauskestävyydelle kansallisissa liitteissä*

Osavarmuusluvut	Itävalta	Belgia	Tanska	Suomi	Ranska	Saksa ⁽ⁱ⁾	Italia	Irlanti	Alankomaat	Norja	Portugali	Romania	Espanja	Ruotsi	Iso-Britannia
γ_{M0}	1.00	1.00	1.10	1.00	1.00	1.00	1.05	1.00	1.00	1.05	1.00	1.00	1.05	1.00	1.00
γ_{M1}	1.00	1.00	1.20	1.00	1.00	1.10	1.05	1.00	1.00	1.05	1.00	1.00	1.05	1.00	1.00
γ_{M2}	1.25	1.25	1.35	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	a	1.10
$a = \min \left(1.10, \frac{0.9 f_u}{f_y} \right); \text{ i) Epälineaarisisä analyysissä oletetaan, että } \gamma_{M0} = 1,10$															
* Osavarmuusluvut poikkileikkauskestävyydelle vastaavat EN 1993-1-1 -standardin vuoden 2006 painosta.															

Osavarmuuslukua γ_{M1} käytetään suunniteltaessa rakenneosia (palkkeja ja pilareita) stabiliteetin takaamiseksi. Stabiliteetti edellyttää materiaalin ominaisuuksien huomioon ottamista ja myös useita tärkeitä tekijöitä, jotka yleensä ryhmitellään *epätarkkuuksien* alle, mukaan lukien alkuperäinen suoruuden puute, tahattomat kuormituksen epäkeskisyydet ja jäännösjännitykset. Suunnittelu perustuu yleensä *nurjahduskäyrien* käsitteeseen, jotka suhteuttavat nurjahdusvastuksen rakennusosan hoikkuuteen. Vaikka uudelleenkäytettävien osien on täytettävä kaikki geometriset toleranssit, voi joissakin olosuhteissa olla järkevää harkita korkeampaa γ_{M1} -arvoa stabiilisuuden todentamisessa uudelleenkäytettävää terästä käytettäessä. Tämä tarjoaa lisäturvamarginaalin, joka ottaa huomioon materiaalin historiaan liittyvät epävarmuudet, mahdolliset epätarkkuudet ja vaihtelut, joita ei täysin oteta huomioon vakiosuunnitteluoletuksissa. Mahdollinen lähestymistapa on esitetty liitteessä B.

Jos rakenne säilytetään alkuperäisellä paikallaan (uudelleenkäyttö samassa sijainnissa), ei ole syytä nostaa vaadittua turvallisuustasoa. Tämä tarkoittaa, että vuoden 1970 jälkeen rakennettujen olemassa olevien hiiliteräsosien $K_{\gamma_{M1}}$ -arvojen voidaan katsoa olevan riittäviä uudelleenkäyttöskenaariossa. $K_{\gamma_{M1}}$ -n arvo liittyy myös useiden kuljetus-, purkamis- ja pystytysprosessien epävarmuuteen sekä geometrinen epätarkkuuksien arviointimenettelyihin. Koska suurinta osaa epävarmuustekijöistä ei sallita, jos rakennus pysyy alkuperäisellä paikallaan, voidaan käyttää arvoa $K_{\gamma_{M1}} = 1,0$.

6.2 Rakenteellinen (staattinen) analyysi

Murtorajatilan kokonaistarkastelu on suoritettava standardin EN 1993-1-1 periaatteiden mukaisesti, ottaen asianmukaisesti huomioon globaalit ($P-\Delta$ -vaikutukset, rakenteelle) ja paikalliset ($P-\delta$ -vaikutukset, osille) epätarkkuudet ja toisen asteen vaikutukset.

Kokonaistarkastelu voi olla myös ensimmäisen tai toisen asteen analyysi rakenteen horisontaalisesta joustavuudesta riippuen, mikä sanelee, voiko toisen asteen vaikutusten huomiotta jättäminen johtaa sisäisten voimien ja taivutusmomenttien aliarviointiin. Globaalien toisen kertaluvun ilmiöiden kannalta herkkien rakenteiden osalta on

suositeltavaa, että globaalit $P-\Delta$ ilmiöt otetaan huomioon geometrisella epälineaarilla analyysillä (yleensä ohjelmistolla) tai standardin EN 1993-1-1 kohdan 7.2.2 (12)–(13) mukaisella kertoimella.

Kimmenteorian mukaista kokonaistarkastelua suositellaan suunniteltaessa uudelleenkäytettävillä teräsrakenteilla rakenteen sisäisten voimien ja siirtymien laskemiseksi. Geometrisesti lineaarisen analyysin etuna on, että voidaan käyttää eri kuormitustapausten sisäisten voimien superpositiota. Poikkileikkausluokasta riippuen osien suunnittelu voidaan suorittaa plastisen tai elastisen poikkileikkausvastuksen perusteella standardin EN 1993-1-1:2022 mukaisesti.

Murtorajatilassa osien resistanssit säätelevät rakenteen turvallisuutta ja niiden on oltava hyväksyttäviä. Sen todentaminen, täyttääkö rakenne tai osa tämän raja-arvon, on tekninen tarkastus, joka perustuu suunnittelustandardin EN 1993-1-1:2022 määräyksiin (katso kohta 6.3).

Käyttörajatila, SLS, hahmottelee rakenteen toiminnallisen suorituskyvyn, ja se perustuu yleensä rakennuksen omistajan odotuksiin, joiden on määriteltävä täytettävät suorituskyvykriteerit. Käyttörajatilat eivät ole turvallisuuskriittisiä, mutta ne voivat heikentää rakennuksen käyttöä ja kestävyyttä esimerkiksi aiheuttamalla halkeamia ja vuotoja vaipan liiallisen taipumisen vuoksi (katso kohta 6.5).

6.3 Murtorajatila

6.3.1 Osien suunnittelu: poikkileikkauskestävyys

Standardin EN 1993-1-1:2022 lausekkeessa 8.2 esitettyjä sääntöjä voidaan soveltaa rajoituksetta poikkileikkauslujuuden suunnittelutarkastelussa ottaen huomioon kohdan 7.5 poikkileikkausluokat. Kestävyysmallien tulee perustua nettopoikkileikkausominaisuuksiin. Teräsrakenteen suunnittelija voi turvallisesti ottaa käyttöön arvot γ_{M0} ja γ_{M2} standardin EN 1993-1-1:2022 asianmukaisen kansallisen liitteen mukaisesti (katso kohta 6.2.3).

6.3.2 Osien suunnittelu: stabiilitetti

Jäsenten stabiilitetitarkastelussa on otettava huomioon paikalliset epätarkkuudet standardin EN 1993-1-1:2022 kohdan 7.3.3 mukaisesti. Yleensä tätä käsitellään implisiittisesti kohdassa 8.3 esitetyissä yksittäisten osien tarkastusmenettelyissä. Jos osissa käytetään uudelleenkäytettävää terästä, on suositeltavaa korvata γ_{M1} merkillä $\gamma_{M1,mod}$ (katso kohta 6.1.3).

Yleensä nurjahduslujuuden määrittämiseen käytetään rakenneosien bruttopoikkileikkausta. Jos pultinreiät kuitenkin sijaitsevat kriittisen poikkileikkauksen sisällä (suurimmat sisäiset leikkausvoimat) ja pienentävät poikkileikkausta yli 15 % kriittisen osasegmentin sisällä, suunnittelussa tulee käyttää nettopoikkileikkausominaisuuksia [58]. Suhteellinen (tai ei-dimensionaalinen) hoikkuus tulee kuitenkin aina määrittää bruttopoikkileikkaukselle.

6.3.3 Liitosten suunnittelu

Liitosten suunnittelun tulee perustua standardin EN 1993 osaan 1-8 käyttäen määriteltyjä osavarmuuslukuja γ_M . Paikallisissa nurjahdustarkasteluissa, esim. puristuksessa oleva pilari momenttikestävällä liitoksella, osavarmuusluku γ_{M1} ei tarvitse päivittää.

Jos uudelleenkäytettävät teräsosat yhdistetään hitsaamalla, voidaan olettaa, että hitsausmateriaalilla on sama lujuus kuin perusteräsmateriaalilla [58]. On kuitenkin suositeltavaa, että olemassa olevat hitsit tarkastetaan huolellisesti.

Liitoslevyjen teräslaatua voidaan pitää samana kuin niiden rakenneosien perusmateriaalia, joihin ne on kytketty.

Parhaat käytännöt EN1993-1-8:n mukaiseen liitossuunnitteluun löytyvät referensseistä. [83] ja [84].

6.3.4 Päärakenteen suunnittelu

Edellisissä alaluvuissa käsiteltiin yksittäisten jäsenten käyttäytymistä olettaen, että sekä kuormitus- että lopulliset olosuhteet ovat tiedossa. Rakenteen osien suunnittelu riippuu luonnollisesti siitä, miten ne on liitetty yhteen, ja johtaa seuraaviin tyypeihin: (i) yksinkertainen rakenne, (ii) jatkuva rakenne ja (iii) puolijatkuva rakenne.

Yksinkertaisessa rakenteessa jäsenten väliset liitokset on nimellisesti kiinnitetty siten, että niillä on pieni vääntöjäykkyys eivätkä ne välitä momenteja. Tämä mahdollistaa kaikkien osien suunnittelun olennaisesti yksinkertaisesti tuetuiksi.

Jatkuvassa rakenteessa liitokset ovat vääntöjäykkiä ja välittävät huomattavia momenteja osien välillä. Tällöin osat voidaan silti suunnitella erikseen edellyttäen, että sisäiset voimat lasketaan ottaen huomioon jäsenten välillä siirtyvät momentit. Tämä voidaan laskea kimmoteorialla.

Standardin EN 1993-1-1:2022 lauseke 7.2.2 sallii kaikenlaiset geometriset ja materiaaliset epätarkastukset. Tämä lähestymistapa vaatii erikoisohjelmistoja, ja sitä käytetään harvoin käytännössä. Lausekkeen 7.2.2(2) vaihtoehto b) on todennäköisin vaihtoehto, ja se mahdollistaa kaikkien epätarkkuuksien erillisen käsittelyn ja ottaa virheet kokonaistarkastelussa ja paikalliset epätarkkuudet osien tarkasteluissa. Yksityiskohtaiset tiedot tavoista, joilla kehysten yleiset epätarkkuudet tulisi sisällyttää, on esitetty lausekkeessa 7.3.2.

Pysyvät jäykistysjärjestelmät on suunniteltu kestämaan:

- jäykistettyyn runkoon kohdistuvat vaakasuorat kuormat,
- jäykistykseen kohdistuvat kuormat, ja
- epätarkkuuksien vaikutus rungossa, jota jäykisteet tukee.

Suunnittelutarkoituksiin ja standardin EN 7.3 lausekkeen 1993-1-1:2022 mukaisesti nämä epätarkkuudet korvataan vastaavilla vaakasuuntaisilla voimilla.

Pystytasossa jäykistystä varten kaikki kolme tulisi yhdistää. Ekvivalenttiset vaakasuuntaiset voimat on otettava huomioon kaikissa murtorajatilan kuormayhdistelyissä, koska niiden tarkoituksena on edustaa alkuperäistä geometriaa, joka johtaa taipumiin kohdistetun kuormien alaisena. Nämä ekvivalenttivoimat on määritettävä erikseen kullekin kuormitusyhdistelmälle, koska ne riippuvat suunniteltujen pystysuuntaisten kuormitusten suuruudesta.

Puristuslaippojen jäykistysjärjestelmät on suunniteltu standardin EN 1993:2022 kohdan 7.3.5 mukaisesti. Epätarkkuuksia tarkastellaan jollakin seuraavista menetelmistä: joko sisällyttämällä kiinnitettäviin osiin alkuperäisten taipumien epätarkkuudet ja suunnitteleamalla lisämomenteja ne varten tai käyttämällä vastaavaa stabiloivaa voimaa.

Jos palkki- tai puristusosat on jatkettu, lisävaatimuksena on, että jäykistys kestää ylimääräisen paikallisen voiman liitoskohdassa, katso 7.3.5.2 lausekkeen 2 kohta.

EN 1993 -standardissa ei ole erityisiä ohjeita väliaikaisten tai asennusjäykistysten suunnittelusta. Nämä järjestelmät varmistavat, että rakenne voidaan rakentaa turvallisesti. Ne riippuvat rakennusjärjestyksestä, ja ne tulee sijoittaa kumulatiivisten toleranssivirheiden vähentämiseksi.

6.3.5 sekundääristen rakenneosien suunnittelu

Toissijaiset teräsrakenteet ovat tyypillisesti kylmämuovattuja orsia, jotka ovat katon pääkannattajien välissä ja julkisivuissa pilareiden välissä. Nämä rakenneosat tukevat rakennuksen vaippaa ja ne on suunniteltu lumi- ja tuulikuormille. Orsia ja seinäkoolauksia käytetään usein myös tukemaan palkkeja ja pilareita sekä vaakasuuntaisten kuormien siirtämiseen jäykisteihin.

Standardin EN 1993-1-3 osa 11 antaa ohjeita katto- ja seinäorsien suunnittelusta. Koska nämä osat ovat yleensä erilaisia eri valmistajilla, valmistajat ovat kehittäneet ja testanneet sopivia osia, jotka tarjoavat suunnittelutietoja suunnittelutaulukoiden tai ohjelmistojen muodossa.

6.4 Seismiset suunnittelunäkökohdat

Suunnittelijoiden on huomioitava, että yksikerroksisten rakennusten seisminen suunnittelu ei yleensä vaadi erityistä suunnittelua prEN1998-2:n 6 §:n mukaisesti [85]. Yksikerroksisia rakennuksia käsitellään yleensä matalan sitkeyden luokkana (DC1), mikä tarkoittaa, että standardin EN1993-1-1 suunnitteluvaatimukset ovat riittävät. Kompromissi tässä käytännössä on se, että pienempi kuormituskerroin on otettava huomioon arvioitaessa suunniteltua seismistä toimintaa. Koska yksikerroksisten rakennusten massa on kuitenkin pieni, seisminen toiminta ei yleensä ohjaa suunnittelua. Jos suunnittelussa oletetaan DC1-konseptia, uudelleenkäytettävien osien hyödyntämisessä järjestykselle alttiissa rakenteissa ei ole huolta, mutta uudelleenkäytettävän rakenteen suunnittelussa suositellaan kerrointa $q=1$.

Tässä oppaassa annettuja suosituksia voidaan soveltaa muihin rakenteisiin, kuten monikerroksisiin rakennuksiin, joille seismisellä toiminnalla on muuta merkitystä (suurempien massojen esiintyminen, rakennuksen korkeus, dissipatiiviset vyöhykkeet). Dissipatiivisen rakenteellisen käyttäytymisen käsitteen mukaisesti suunniteltujen rakenteiden on kuuluttava rakenteelliseen sitkeysluokkaan DC2 tai DC3. Nämä luokat vastaavat rakenteen lisääntyntä kykyä hajottaa energiaa plastisessa tarkastelussa. Sitkeysluokasta riippuen liitosten poikkileikkausluokkaa ja vääntöä koskevat erityisvaatimukset on täytettävä. Tällaisissa tapauksissa on suositeltavaa sallia uudelleenkäytettävät teräsosat vain, jos kyseisiä osia käytetään vähintään yhdessä seuraavista olosuhteista: i) pilareiden tai sekundäärien osina (jotka eivät ole osa vaakakuormia vastaanottavia kuten nivelelliset palkit) tai ii) elementteinä, jotka ovat osa DC1-rakennetta.

Liitteessä A ehdotetut arviointi- ja testausmenettelyt ovat standardissa EN 1998-3 ehdotettujen vaatimusten mukaisia [86] olemassa oleviin rakennuksiin. Tapauksissa, joissa

olemassa oleva rakenne on arvioitu ja edellytetään dissipatiivista käyttäytymistä (keskitasoinen tai korkea sitkeysluokka), suositelluissa testausmenetelmissä on noudatettava lisäyksen A mukaisia CC3-rakennetta koskevia suosituksia. Lisäohjeita löytyy viitteistä [87] jotta [89].

6.5 Käyttörajatilat

6.5.1 Taipumat ja siirtymät

Käyttörajatilan olosuhteet (taipumat, siirtymät, värinä) on esitetty standardin EN 5.4, 8.4 ja liitteessä A standardin EN 1990:2023 lausekkeissa 5.4, 8.4 ja liitteessä A [9]. Käyttökriteerit ja -rajat on esitetty standardin EN1990:2023 liitteessä A, ja niitä voidaan käyttää suunniteltaessa rakenteita, joissa käytetään uudelleenkäytettäviä teräsosia. Vaatimukset olisi määriteltävä erikseen kullekin hankkeelle. Muissa eurokoodeissa on käyttörajatilakriteereihin liittyviä lisämääräyksiä. Muiden enimmäisarvojen olisi oltava asianomaisen viranomaisen määrittelemiä, tai jos niitä ei ole määriteltä, asianomaiset osapuolet voivat sopia niistä tiettyä hanketta varten. Kimmoteorialla määritetään rungon taipumat käyttörajatilassa.

Seuraavassa käsitellään joitakin muita olosuhteita, jotka voivat vaikuttaa käyttörajatilakriteereihin.

Julkisivu

Vierekkäisten kehien välistä taipumaa on rajoitettava, jotta julkisivujärjestelmän kiinnikkeet eivät rasitu liikaa, mikä johtaa repeytymiseen ja mahdollisiin vuotoihin. Esimerkiksi yksikerroksisten rakennusten julkisivuprofiilit taipuvat huomattavasti vähemmän kuin rungolle lasketut muodonmuutokset. Tämä johtuu siitä, että levy toimii levyvaikutuksena, joka antaa huomattavan jäykistävän vaikutuksen rakenteeseen. Todellinen taipuma riippuu rakennuksen mittasuhteista ja verhoustyyppistä, mutta vaakasuuntaisten taipumien pieneneminen yli 50 % (pelkälle rungolle lasketuista) mitataan tyypillisesti toteutuneista rakenteista.

Päädyt

Levytetty ja/tai jäykistetty päätykehä on erittäin jäykkä omassa tasossaan. Lasketut taipumat päätykehäyksen ja viereisen kehyksen välillä voivat olla erittäin suuria. Tätä taipumaa muokkaavat aina rakennuksen lattia, kattoprofiilit ja kattojäykisteet.

Muuraus

Kun tiili- tai harkkoseinät on rakennettu siten, että ne saavat tukea teräsrungosta, detaljit tulee olla sellaisia jotta ne voivat taipua rungon mukana käyttämällä kokoonpuristuvaa kosteudenkestävää kerrosta seinän pohjassa. Tiilimuurauksen yläosassa ja tarvittaessa välipisteissä tulee olla sopiva kiinnitys. Jos tiilimuurausta jatketaan teräspilarien ympärillä muodostaen jäykkiä pilareita, on kohtuutonta odottaa näiden taipuvan rungon mukana. Tässä tapauksessa runkoon tulisi soveltaa raskaampia taipumarajoja.

Lammikoituminen

Matalalla kaltevalla katolla ja tasakatoilla on myös otettava huomioon veden lammikointi katolle. Pienin suositeltu katon kaltevuus on 3° pystysuuntaisen taipuman huomioon ottamisen jälkeen. Suositeltu vakiokaltevuus on 6° vaakatasoon nähden, jolloin

lammikoituminen voidaan jättää huomiotta. Ristikkojen kaltevuus on tyypillisesti 3° vaakatasoon nähden, mutta koska ne ovat paljon jäykempiä kuin kuumavalssatut profiilit, lammikointivaikutukset eivät ole kriittisiä.

VIITTAUKSET

- [1] Kibert CJ (2013). Sustainable construction: green building design and delivery: green building design and Delivery. John Wiley & Sons.
- [2] CEN – European Committee for Standardisation (2024). CEN/TS 1090-201: Execution of steel structures and aluminium structures - Reuse of structural steel, Brussels, Belgium.
- [3] Densley Tingley D, Allwood J (2014). Reuse of structural steel: the opportunities and challenges. In: European Steel Environment & Energy Congress 2014, 15-17 September, Teeside University, UK.
- [4] Chen H-M, Wang Y, Zhou K, Lam D, Guo W, Li L, Ajayebi A, Hopkinson P (2022). Reclaiming structural steels from the end of service life composite structures for reuse - An assessment of the viability of different methods. Developments in the Built Environment 10, 100077.
- [5] Yrjölä J. (2022). New white paper: Dismount and reuse of precast concrete structures, Peikko Group. Retrieved from: <https://www.peikko.com/blog/new-white-paper-dismount-and-reuse-of-precast-concrete-structures/>.
- [6] ReCreate Project. (2023). Reusing concrete building components - A practical example. [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=EzppFH_Fg4w.
- [7] CEN – European Committee for Standardisation (2009). EN 1090-1: Execution of steel structures and aluminium structures, Part 1: Requirements for conformity assessment of structural components (incorporating CEN amendment A1:2012), Brussels, Belgium.
- [8] CEN – European Committee for Standardisation (2018). EN 1090-2: Execution of steel structures and aluminium structures, Part 2: Technical requirements for steel structures (incorporating CEN amendment A1:2024), Brussels, Belgium.
- [9] CEN – European Committee for Standardisation (2023). EN 1990: Eurocode: Basis of structural and geotechnical design, Brussels, Belgium.
- [10] CEN – European Committee for Standardisation (2002). EN 1991-1-1: Eurocode 1: Actions on structures, Part 1-1: General actions – Densities, self-weight, imposed loads for buildings (incorporating CEN corrigenda Dec. 2004 and Mar. 2009), Brussels, Belgium.
- [11] CEN – European Committee for Standardisation (2002). EN 1991-1-3: Eurocode 1: Actions on structures, Part 1-3: General actions – snow loads (incorporating CEN corrigenda Dec. 2004 and Jun. 2009, and CEN amendment A1:2015), Brussels, Belgium.
- [12] CEN – European Committee for Standardisation (2002). EN 1991-1-4: Eurocode 1: Actions on structures, Part 1-4: General actions – wind actions (incorporating CEN amendment A1:2010), Brussels, Belgium.
- [13] CEN – European Committee for Standardisation (2003). EN 1991-1-5: Eurocode 1. Actions on structures, Part 1-5: General actions - Thermal actions, Brussels, Belgium.

- [14] CEN – European Committee for Standardisation (2005). EN 1991-1-6: Eurocode 1. Actions on structures, Part 1-6: General actions - Actions during execution, Brussels, Belgium.
- [15] CEN – European Committee for Standardisation (2022). EN 1993-1-1: Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings, Brussels, Belgium.
- [16] CEN – European Committee for Standardisation (2024). EN 1993-1-3: Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1-3: General rules – supplementary rules for cold-formed members and sheeting, Brussels, Belgium.
- [17] CEN – European Committee for Standardisation (2024). EN 1993-1-8: Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1-8: Design of joints, Brussels, Belgium.
- [18] CEN – European Committee for Standardisation (2005). EN 1993-1-10: Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1-10: Material toughness and through-thickness properties (incorporating CEN corrigenda Dec. 2005, Sep. 2006 and Mar. 2009), Brussels, Belgium.
- [19] CEN – European Committee for Standardisation (2004). EN 1994-1-1: Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures - General rules and rules for buildings, Brussels, Belgium.
- [20] CEN – European Committee for Standardisation (2004). EN 10025-1: Hot rolled products of structural steels, Part 1: General technical delivery conditions, Brussels, Belgium.
- [21] CEN – European Committee for Standardisation (2019). EN 10025-2: Hot rolled products of structural steels, Part 2: Technical delivery conditions for non-alloy structural steels, Brussels, Belgium.
- [22] CEN – European Committee for Standardisation (2019). EN 10025-4: Hot rolled products of structural steels, Part 4: Technical delivery conditions for thermomechanical rolled weldable fine grain structural steels (incorporating CEN amendment A1:2022), Brussels, Belgium.
- [23] CEN – European Committee for Standardisation (2004). EN 10025-5: Hot rolled products of structural steels, Part 5: Technical delivery conditions for structural steels with improved atmospheric corrosion resistance, Brussels, Belgium.
- [24] CEN – European Committee for Standardisation (2010). EN 10029: Hot rolled steel plates 3 mm thick or above, Tolerances on dimensions and shape, Brussels, Belgium.
- [25] CEN – European Committee for Standardisation (1993). EN 10034: Structural steel I and H sections – Tolerances on shape and dimensions, Brussels, Belgium.
- [26] CEN – European Committee for Standardisation (2024). EN 10051: Continuously hot-rolled strip and plate/sheet cut from wide strip of non-alloy and alloy steels – Tolerances on shape and dimensions, Brussels, Belgium.
- [27] CEN – European Committee for Standardisation (1998). EN 10055: Hot rolled steel equal flange tees with radiused root and toes – Dimensions and tolerances on shape and dimensions, Brussels, Belgium.
- [28] CEN – European Committee for Standardisation (2017). EN 10056-1: Structural steel equal and unequal leg angles, Part 1: Dimensions, Brussels, Belgium.

- [29] CEN – European Committee for Standardisation (1993). EN 10056-2: Structural steel equal and unequal leg angles, Part 2: Tolerances on shape and dimensions, Brussels, Belgium.
- [30] CEN – European Committee for Standardisation (2004). EN 10204: Metallic products – Types of inspection documents, Brussels, Belgium.
- [31] CEN – European Committee for Standardisation (2006). EN 10210-1: Hot finished structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels, Part 1: Technical delivery requirements, Brussels, Belgium.
- [32] CEN – European Committee for Standardisation (2019). EN 10210-2: Hot finished structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels, Part 2: Tolerances, dimensions and sectional properties, Brussels, Belgium.
- [33] CEN – European Committee for Standardisation (2006). EN 10219-1: Cold formed welded structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels, Part 1: Technical delivery requirements, Brussels, Belgium.
- [34] CEN – European Committee for Standardisation (2019). EN 10219-2: Cold formed welded structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels, Part 2: Tolerances, dimensions and sectional properties, Brussels, Belgium.
- [35] CEN – European Committee for Standardisation (2000). EN 10279: Hot rolled steel channels – Tolerances on shape, dimension and mass, Brussels, Belgium.
- [36] CEN – European Committee for Standardisation (2015). EN 10346: Continuously hot-dip coated steel flat products for cold forming – Technical delivery conditions, Brussels, Belgium.
- [37] CEN – European Committee for Standardisation (2022). EN 10169: Continuously organic coated (coil coated) steel flat products - Technical delivery conditions, Brussels, Belgium.
- [38] CEN – European Committee for Standardisation (2017). EN 10365 Hot rolled steel channels, I and H sections – Dimension and masses, Brussels, Belgium.
- [39] CEN – European Committee for Standardisation. EN 14399: High-strength structural bolting assemblies for preloading (all parts), Brussels, Belgium.
- [40] CEN – European Committee for Standardisation (2013). EN 14509: Self-supporting double skin metal faced insulating panels, Factory made products, Specifications, Brussels, Belgium.
- [41] Steel buildings in Europe: Design guides for single-storey and multi-storey steel buildings. https://constructalia.arcelormittal.com/en/news_center/articles/design_guides_steel_buildings_in_europe.
- [42] Kamrath, P., Sansom, M., Ungureanu, V., & Hradil, P. (2020). Deliverable D2.1a: Safe and efficient deconstruction; Deliverable D2.1a: Deconstruction protocol for single-storey steel framed buildings. European Convention for Constructional Steelwork. <https://www.steelconstruct.com/wp-content/uploads/PROGRESS-D2.1-Auditing-and-deconstruction-process.pdf>.
- [43] Single storey industrial buildings. https://steelconstruction.info/Single_storey_industrial_buildings.
- [44] Multi-storey office buildings. https://steelconstruction.info/Multi-storey_office_buildings.

- [45] CEN – European Committee for Standardisation (2019). EN 15804: Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products (incorporating CEN amendment A2:2019), Brussels, Belgium.
- [46] CEN – European Committee for Standardisation (2011). EN 15978: Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method, Brussels, Belgium.
- [47] CEN – European Committee for Standardisation (2015). EN 16627: Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method, Brussels, Belgium.
- [48] CEN – European Committee for Standardisation (1992). ENV 1993-1-1: Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings, Brussels, Belgium.
- [49] European Union (2011). Regulation (EC) No 3058/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC/WFD 2008/98/EC. Available at: <http://data.europa.eu/eli/reg/2011/305/oj>.
- [50] European Commission: Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs, Oberender, A., Fruergaard Astrup, T., Frydkjær Witte, S., Camboni, M., Chiabrande, F., Hayleck, M., & Akelyté, R. (2024). EU construction & demolition waste management protocol including guidelines for pre-demolition and pre-renovation audits of construction works: updated edition 2024, Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2873/77980>.
- [51] ECCS P49 (1987). European recommendations for design of light gauge steel members, Publication P049, European Convention for Constructional Steelwork, Brussels, Belgium.
- [52] CEN – European Committee for Standardisation (1996). ENV1993-1-3: Eurocode 3: Design of Steel Structures Part 1.3. General Rules. Supplementary rules for cold-formed thin gauge members and sheeting. (including the Corrigenda to ENV1993-1-3 of 1997-02-25). European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- [53] Feldmann M et al. (2024). Guidance on Establishing European Rules for the Design of reclaimed Steel Components for Reuse (4th draft), CEN-TC 250-SC 3-AHG Reuse.
- [54] Girao Coelho AM, Pimentel R, Ungureanu V, Hradil P, Kesti J (2020). European Recommendations for Reuse of Steel Products in Single-Storey Buildings, 1st Edition, <https://www.steelconstruct.com/>.
- [55] CEN – European Committee for Standardisation (2017). CEN ISO/TR 15608: Welding - Guidelines for a metallic materials grouping system, Brussels, Belgium.
- [56] BSI – British Standards Institution. BS 15:1948. Structural steel, UK.
- [57] BSI – British Standards Institution. BS 4360-2:1969. Specification for weldable structural steels metric units, UK.
- [58] SIA 269/3:2011. Existing structures – Steel structures, SIA Zurich.
- [59] Brown D. G. and Iles, D. C. Selection of steel sub-grade in accordance with the Eurocodes. SCI Document ED007. SCI, 2012.

- [60] PD 6695-1-10:2009. Recommendations for the design of structures to BS EN 1993-1-10. BSI, 2009.
- [61] P419 – Brittle fracture: selection of steel sub-grade to BS EN 1993-1-10; ISBN 1-85942-135-0, 2017. The Steel Construction Institute.
- [62] Sedlacek, G. et al. Commentary and worked examples to BS EN 1993-1-10 “Material toughness and through thickness properties” and other toughness-oriented rules in BS EN 1993. European Commission Joint Research Centre, 2008.
- [63] Davison B, Owens GW (eds.) (2012). Steel designers’ manual. The Steel Construction Institute, 7th edition, Wiley-Blackwell, UK.
- [64] CEN – European Committee for Standardisation (2007). EN ISO 8501-1: Preparation of steel substrates before application of paints and related products – Visual assessment of surface cleanliness, Part 1: Rust grades and preparation grades of uncoated steel substrates and of steel substrates after overall removal of previous coatings, Brussels, Belgium.
- [65] BS 4 Part 1;1962. Specification for structural steel section; Part 1: Hot Rolled sections.
- [66] Dorman Long & CO Ltd (1964). Handbook for constructional engineers, Fanfare Press Ltd, London, UK.
- [67] The British Constructional Steelwork Association (1994). National structural steelwork specification for building construction, 3th Edition, 203, London, UK.
- [68] STAS 767/0-88 (1988). Steel Structures. General technical requirements for quality of non-industrial, industrial and agricultural buildings. Romanian Institute for Standardization.
- [69] CEN – European Committee for Standardisation (2016). EN ISO 17637: Non-destructive testing of welds – Visual testing of fusion-welded joints, Brussels, Belgium.
- [70] CEN – European Committee for Standardization (2020). EN ISO 7438: Metallic materials – Bend test, Brussels, Belgium.
- [71] CEN – European Committee for Standardisation (2018). EN 1090-4: Execution of steel structures and aluminium structures, Part 4: Technical requirements for cold-formed structural steel elements and cold-formed structures for roof, ceiling, floor and wall applications, Brussels, Belgium.
- [72] CEN – European Committee for Standardisation (2003). EN 10162: Cold rolled steel sections – Technical delivery conditions – Dimensional and cross-sectional tolerances, Brussels, Belgium.
- [73] CEN – European Committee for Standardisation (2006). EN 10143: Continuously hot-dip coated steel sheet and strip – Tolerances on dimensions and shape, Brussels, Belgium.
- [74] CEN – European Committee for Standardisation (2013). EN 14509: Self-supporting double skin metal faced insulating panels. Factory made products. Specifications, Brussels, Belgium.
- [75] CEN – European Committee for Standardisation (2006). EN 14782: Self-supporting metal sheet for roofing, external cladding and internal lining. Product specification and requirements, Brussels, Belgium.

- [76] International Standard (2010). ISO 13822: Bases for design of structures – Assessment of existing structures, Geneva, Switzerland.
- [77] Gulvanessian H, Calgar JA, Holický M (2012). Designer's guide to Eurocode: basis of structural design EN 1990, ICE Publishing, Thomas Telford, London (2nd edition).
- [78] Steenbergen RDJM, Vrouwenvelder ACWM (2010). Safety philosophy for existing structures and partial factors for traffic loads on bridges, *Heron* 55(2), 123-140.
- [79] Matthews S (2012). Structural appraisal of existing buildings, including for a material change of use, Part 3: Structural appraisal procedures, BRE-DG 366, Building Research Establishment, UK.
- [80] Sedlacek G, Spangemacher R, Hensen W, ARBED Research (1989). Background Documentation for EC3, Doc. 5.01, Background document for the justification of safety factor $\gamma_M = 1.0$ for rolled beams in bending about the strong axis. Commission of the European Communities.
- [81] Sedlacek G, Ungermann D, Kuck J, Maquoi R, Janss J (1989). Background Document for EC3, Doc. 5.03, Evaluation of test results on beams with cross-sectional classes 1-3 in order to obtain strength functions and suitable model factors. Commission of the European Communities.
- [82] Charbrolin B, CTICM, Labein, ProfilARBED, RWTH, SCI, TNO, SAES (2002). Partial safety factors for resistance of steel elements to EC3 and EC4. Calibration for various steels products and failure criteria. Final report. Technical steel research series, European Communities, EUR 20344 EN.
- [83] SCI P358, Joints in steel construction: Simple joints to Eurocode 3, 2014. The Steel Construction Institute.
- [84] SCI P398 Joints in steel construction: Moment-resisting joints to Eurocode 3. The Steel Construction Institute.
- [85] CEN – European Committee for Standardisation (2023). prEN 1998-1-2: Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance - Part 1-2: Buildings, Brussels, Belgium.
- [86] CEN – European Committee for Standardisation (2005). EN 1998-3: Eurocode 8. Design of structures for earthquake resistance. Assessment and retrofitting of buildings, Brussels, Belgium.
- [87] AISC – American Institute of Steel Construction (2022). ANSI/AISC 342:2022: Seismic Provisions for Evaluation and Retrofit of Existing Structural Steel Buildings, Chicago, IL, USA.
- [88] ASCE – American Society of Civil Engineers (2017). ASCE/SEI 41-17: Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, Reston, Virginia, USA.
- [89] FEMA P-2208:2023: NEHRP Recommended Revisions to ASCE/SEI 41-17, Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, USA.
- [90] CEN – European Committee for Standardisation (2007). EN 1993-6:2007 Eurocode 3. Design of steel structures. Crane supporting structures, Brussels, Belgium.
- [91] CEN – European Committee for Standardisation (2016). EN 13018: Non-destructive testing, Visual testing, General principles, Brussels, Belgium.

- [92] CEN – European Committee for Standardisation (2011). EN ISO 13385-1: Geometrical product specifications (GPS), Dimensional measuring equipment, Part 1: Callipers; Design and metrological characteristics (incorporating corrigendum Oct. 2015), Brussels, Belgium.
- [93] CEN – European Committee for Standardisation (2011). EN ISO 13385-2: Geometrical product specifications (GPS), Dimensional measuring equipment, Part 2: Calliper depth gauges; Design and metrological characteristics (incorporating corrigendum Oct. 2015), Brussels, Belgium.
- [94] CEN – European Committee for Standardisation (2013). EN ISO 3452-1: Non-destructive testing, Penetrant testing, Part 1: General principles (incorporating corrigendum Jun. 2014), Brussels, Belgium.
- [95] CEN – European Committee for Standardisation (2010). EN ISO 15549: Non-destructive testing – Eddy current testing – General principles, Brussels, Belgium.
- [96] CEN – European Committee for Standardisation (2015). EN ISO 17643: Non-destructive testing of welds – Eddy current examination of welds by complex plane analysis, Brussels, Belgium.
- [97] CEN – European Committee for Standardisation (2014). EN ISO 16810: Non-destructive testing, Ultrasonic testing, General principles, Brussels, Belgium.
- [98] CEN – European Committee for Standardisation (2018). EN ISO 17640: Non-destructive testing of welds, Ultrasonic testing, Techniques, testing levels, and assessment, Brussels, Belgium.
- [99] CEN – European Committee for Standardisation (2016). EN ISO 17638: Non-destructive testing of welds. Magnetic particle testing, Brussels, Belgium.
- [100] CEN – European Committee for Standardisation (2015). EN ISO 23277: Non-destructive testing of welds, Penetrant testing, Acceptance levels, Brussels, Belgium.
- [101] CEN – European Committee for Standardisation. EN ISO 17636: Non-destructive testing of welds. Radiographic testing. X- and gamma-ray techniques (all parts), Brussels, Belgium.
- [102] FEMA 352:2000. Recommended Post earthquake Evaluation and Repair Criteria for Welded. Steel Moment-Frame Buildings; Federal Emergency Management Agency USA.
- [103] CEN – European Committee for Standardisation. EN ISO 6507: Metallic materials. Vickers hardness test (all parts), Brussels, Belgium.
- [104] CEN – European Committee for Standardisation. EN ISO 6508: Metallic materials. Rockwell hardness test (all parts), Brussels, Belgium.
- [105] CEN – European Committee for Standardisation – EN ISO 6505: Metallic materials. Brinell hardness test (all parts), Brussels, Belgium.
- [106] ASTM – American Society for Testing and Materials (2017). A1038: Standard test method for portable hardness testing by the ultrasonic contact impedance method. West Conshohocken, Pennsylvania, United States.
- [107] ISO 19272:2015; Low alloyed steel – Determination of C, Si, Mn, P, S, Cr, Ni, Al, Ti and Cu – Glow discharge optical emission spectrometry (routine method), 2015.

- [108] ASTM – American Society for Testing and Materials (2013). E572: Standard test method for analysis of stainless and alloy steels by wavelength dispersive X-ray fluorescence spectrometry. West Conshohocken, Pennsylvania, United States.
- [109] ASTM – American Society for Testing and Materials (2014). E1476: Standard guide for metals identification, grade verification, and sorting, West Conshohocken, Pennsylvania, United States.
- [110] ISO 145775 (all parts). Metallic materials – Instrumented indentation test for hardness and materials parameters.
- [111] CEN – European Committee for Standardisation (2007). CEN Workshop Agreement CWA 15627: Small punch test method for metallic materials, Brussels, Belgium.
- [112] CEN – European Committee for Standardisation (2017). prEN 15627: Metallic materials - Small punch test method, working document, ECISS/TC 1010/WG 1 committee.
- [113] CEN – European Committee for Standardisation (2020). EN ISO 6892-1: Metallic materials – Tensile testing, Part 1: Method of test at room temperature, Brussels, Belgium.
- [114] CEN – European Committee for Standardisation (2002). EN ISO 14284: Steel and iron – sampling and preparation of samples for the determination of chemical composition (incorporating corrigendum Dec. 2002), Brussels, Belgium.
- [115] CEN – European Committee for Standardisation (2016). EN ISO 148-1: Metallic materials – Charpy pendulum impact test, Part 1: Test method, Brussels, Belgium.
- [116] ASTM – American Society for Testing and Materials (2013). E112 Standard test methods for determining average grain size. West Conshohocken, Pennsylvania, United States.
- [117] SCI P427 – Structural Steel Reuse: assessment, testing and design principles, The Steel Construction Institute, 2019.
- [118] Simões da Silva L, Marques L, Tankova T, Rebelo C, Kuhlmann U, Kleiner A, Spiegler J, Snider HH, Dekker RWA, Dehan V, Taras A, Haremza C, Cajot LG, Vassart O, Popa N (2017). Standardisation of safety assessment procedures across brittle to ductile failure modes (SAFEBRITILE). Research Fund for Coal and Steel (RFCS), Final report EUR 28906, European Commission, Brussels, Belgium.
- [119] Fujita M, Kuki K (2016). An evaluation of mechanical properties with the hardness of building steel structural members for reuse by NDT, *Metals* 6, 247, doi: 10.3390/met6100247.
- [120] CEN – European Committee for Standardisation (2013). EN ISO 18265: Metallic materials – Conversion of hardness materials, Brussels, Belgium.
- [121] CEN – European Committee for Standardisation (20174). EN ISO 377: Steel and steel products. Location and preparation of samples and test pieces for mechanical testing, Brussels, Belgium.
- [122] CEN – European Committee for Standardisation (2017). EN 13523-1: Coil coated metals. Test methods. Film thickness, Brussels, Belgium.
- [123] CEN – European Committee for Standardisation (2002). EN 13523-6: Coil coated metals. Test methods. Adhesion after indentation, Brussels, Belgium.

[124] CEN – European Committee for Standardisation (2014). EN 13523-7: Coil coated metals. Test methods. Resistance to cracking on bending (T-bend test), Brussels, Belgium.

[125] Holický M (2009). Reliability analysis for structural design. Sun Press.

Lisäys A

Arviointi, mittaukset, näytteenotto ja testaus

A.1 Yleiset

Materiaalin ominaisuuksien kvantifiointi ja rakenteen todentaminen tai rakenneosien arviointi ovat välttämättömiä uudelleenkäytettävyyden arvioimiseksi. Testausohjelmiin sisältyy erilaisia testejä, ja ne on toteutettava huolellisesti. On löydettävä tasapaino sen välillä, että saadaan riittävästi tietoa riskin kohtuullisen arvioinnin tekemiseksi ja vahingoittaako näytteenotto itse rakennetta, seuraavasti:

- Testit voivat olla tehokkaita ja niitä voidaan tulkita yhdessä, esimerkiksi edustavaa otosta tietyn ominaisuuden paljastavista paikoista voidaan tutkia yksityiskohtaisemmin useilla yksityiskohtaisemmilla testeillä.
- Suorituskyvyn arviointimenettelyjä, joissa käytetään ainetta rikkomatonta testausta (NDT), olisi mahdollisuuksien mukaan käytettävä,
- Rikkovan testauksen (DT) tapauksessa poraus tai leikkaus on sijoitettava huolellisesti, määriteltävä ja valvottava rakenteen mahdollisten vaurioiden välttämiseksi.
- Jos hitsausta suunnitellaan, kemiallinen koostumus on määritettävä, jotta hitsausmenetelmän spesifikaatio voidaan määrittää. Epäjalometallin soveltuvuus hitsaukseen on osoitettava hiilikvivalenttiarvolla (CEV).

A.2 Kunnan arviointi ja mittaukset

A.2.1 Yleiset

Olemassa olevan teräsrakenteen arviointia kuvataan osassa 3. Vuokaavio Kuva. 5.1 havainnollistaa olemassa olevien rakenneosien talteenoton yleisiä puitteita. Lisäksi korostettiin tarvetta arvioida olemassa olevien teräsrakenteiden (pääasiassa hitsien) valmistusprosesseja, jotta voidaan varmistaa, että nämä prosessit ovat standardin EN1090 laatuvaatimusten mukaisia. Seuraavassa osiossa annetaan lisäohjeita olemassa olevien teräsrakenteiden arviointiin sekä hitsien tarkastukseen.

A.2.2 Tarkastustekniikat

Nykyiseen hankkeeseen soveltuvat tarkastustekniikat on esitetty tiivistetysti Taulukko A.1. Nämä hyvin yksinkertaiset tekniikat auttavat rakenteen yleisen kunnan määrittämisessä ja sopivan näytteenotto- ja testausmenettelyn määrittelyssä. Käytännössä tämä yhdistetään yksityiskohtaisiin mittauksiin. Seuraavat tiedot voidaan kerätä:

- Rakenteen ikä ja mahdolliset muutokset tai korjaukset,
- Materiaalit, joista rakenne on valmistettu (tai joihin on lisätty materiaalia),
- Rakennuksen geometria ja rakenteellinen järjestelmä, osien koko ja liitosten yksityiskohdat.

Siinä tapauksessa, että koko primäärirakenne käytetään uudelleen, rakennuksen tarkastuksessa on tarkempia tietoja. Komponenttien mitat kriittisissä paikoissa tulee mitata. Liitosten ja liitososien mitat tulee kirjata, mukaan lukien hitsien koot. Kaikki hitsit on

tarkastettava. Lisäksi, koska geometriset epätarkkuudet vaikuttavat nurjahdusvoimiin, poikkeamat on mitattava yksityiskohtaisesti standardin EN 1090-2 mukaisesti.

Taulukko A.1 Tarkastustekniikat

Tekniikka	Kuvaus	Kommentit/arvo
Silmämääräinen tarkastus	Korroosion, halkeamien, epämuodostumien, vaurioiden jne.tarkastus	Oleellinen. Yleinen arvio rakenteen fyysisestä kunnosta. Ei paljasta hienoja tai pinnanalaisia halkeamia. Yleiset säännökset on annettu EN 13018 [91].
Kenttätutkimus	Geometrinen tutkimus osien sijainneista ja koosta sekä yksityiskohdista.	Oleennaista piirustusten puuttuessa ja (i) muutosten ja korjausten tarkistamiseksi, (ii) osien poikkileikkauksen mittojen, suoruuden, pystysuoruuden, muodonmuutoksen ja taipuman määrittämiseksi.
Mittojen tarkastus	Mittaukset Vernier-työntömitoilla, mikrometreillä, kolmiulotteisella laserkeilauksella, ultraäänimittauksilla jne.	Välttämätön alkuperäisten rakennepiirustusten puuttuessa. Geometrinen tiedonkeruu, osien koko. Katso laitteet ja työkalut mm. EN ISO 13385-1 [92] ja EN ISO 13385-2 [93].

A.2.3 Hitsien ainetta ei-rikkova testaus (NDT)

Ainetta ei-rikkova suoritetaan yleensä käyttämällä laitteita lähellä rakenteen pintaa, sitä vasten tai kiinnitettynä, ja sillä on suuria etuja, nimittäin se ei vahingoita rakennetta ja eliminoi myös aikaa vievän satunnaisnäytteenoton ja myöhempien laboratoriotestien tarpeen. Taulukko A.2 esitetään joitakin tekniikoita, joita voidaan käyttää tässä tarkasteluvaiheessa. NDT-tekniikat voivat olla hyödyllisiä vikojen paikantamisessa ja/tai koon mittaamisessa.

Taulukko A.2 Mahdolliset NDT-tekniikat hitsauksissa

Tekniikka	Kuvaus	Kommentit/arvo
Silmämääräinen tarkastus	Kattaa metallimateriaalien fuusiohitsien silmämääräisen tutkimuksen. Tutkimus tehdään yleensä hitsaustuille osille mutta poikkeuksellisesti tutkimus voidaan tehdä hitsausprosessin muissa vaiheissa.	Varmistaa jokaisen hitsatun liitoksen vähimmäislaadunvalvonnan. EN ISO 17637 [69].
Tunkeutuva testaus	Väriaine korostaa pintaa rikkovia halkeamia.	Osoittaa pintahalkeamia osissa, jotka eivät muuten näy paljaalla silmällä, noin 25 µm:n pintavirheet voidaan havaita tarkasti. EN ISO 3452-1 [94] antaa tämän tekniikan yleiset periaatteet. Katso hitsit standardista EN ISO 23277 [100].

Induktiivihitsauksen tarkastus	Pyörrevirtatarkastuksia käytetään magneettisten tai ei-magneettisten sähköä johtavien materiaalien epäjatkuvuuksien rikkomattomaan paikantamiseen ja karakterisointiin.	Välttämätön pinta- ja pintahalkeamien havaitsemiseksi. Soveltuu vain yksinkertaisiin geometrioihin. Ei havaitse pinnan alla olevia vikoja. Yleiset periaatteet on esitetty standardissa EN ISO 15549 [95] ja hitsit katso EN ISO 17643 [96].
Ultraäänitestaus	Anturi muuntaa sähköenergian erittäin korkeataajuisiksi ääniaalloiksi, jotka heijastuvat vioista, jotka tallennetaan.	Soveltuu upotettujen tasomaisten vikojen havaitsemiseen, mukaan lukien halkeamat, fuusiohitsien puute, lamellirepeytyminen, vetyhalkeilu. Tätä tekniikkaa koskevat yleiset määräykset löytyvät standardista EN ISO 16810 [97]. Katso hitsit EN ISO 17640 [98].
Magneettisten hiukkasten testaus	Magneettisten hiukkasten testauksessa käytetään kyseenalaisten poikkileikkausten magnetointia sähköä johtavissa materiaaleissa. Magneettikentän visualisointiin käytetään liuosta, jossa on yleensä fluoresoivia terässirpaleita.	Tätä tarkastusmenetelmää voidaan käyttää vain ferromagneettisten materiaalien pintahalkeamien havaitsemiseen. Halkeamia ei-magneettisessa materiaalissa tai sandwich-paneleissa ei voida havaita. Menetelmää voidaan soveltaa porattujen reikien tarkan kohdentamisen laadunvalvontaan aktiivisten väsymishalkeamien pysäyttämiseksi. EN 17638 [99] voidaan osoittaa viitteeksi.
Röntgentarkastus	Röntgentutkimusta (röntgen, γ -säteily, esim. iridiumlähteellä) käytetään halkeamien ja vikojen havaitsemiseksi paikallarakennetuissa osissa kerrostettujen osien arvioimiseksi. Radiograafinen lähde sijaitsee rakennetun elementin toisella puolella, radioherkkä kalvo, ilmaisim tai digitaalinen tallennusyksikkö tarkastetun poikkileikkauksen toisella puolella.	Röntgen- tai γ -säteilytarkastus on ainoa menetelmä, jolla on validoitu toteutettavuus laboratoriotesteissä ja rakennuskohteessa sisäisten vikojen tai halkeamien havaitsemiseksi sandwich-paneelien keskellä. EN ISO 17636 [101] voidaan osoittaa viitteeksi.

A.2.4 Hitsien tarkastusprotokolla

Osien uumalevyjen väliset hitsit (mukaan lukien reikäpalkit) on tarkastettava. Sama määrä hitsaustestausta, jota vaaditaan standardissa EN 1090-2 (katso taulukko 24), tulee soveltaa uudelleenkäytettäviin teräsosiin. 100 % hitsien silmämääräinen tarkastus on pakollinen. Taulukossa A.3 esitetään hitsausliitosten vähimmäismäärä, joka on tarkastettava ainetta rikkomattomilla testeillä. Liitoksessa voi olla erilaisia hitsaussegmenttejä. Tyypillisessä ristikon ja pilareiden liitoksessa laippojen ja uumien väliset hitsit on arvioitava. Kunkin näistä hitsauksista voidaan olettaa olevan yksi liitos taulukon A.3 mukaisesti.

Taulukko A.3 Suositeltu testattavien hitsien vähimmäisprosenttiosuus [2] [102]

Liitosten kokonaismäärä	Testattavien liitosten määrä	Yhteensä %
6	3 (vähintään)	50%
10	4	40%
15	5	33%
20	6	30%
30	8	27%
40	10	25%
50	12	24%
75	16	21%
100	20	20%
200	30	15%
300	40	13%
500	60	12%
1000	100	10%
2000	150	8%

A.3 Testattavien osakokonaisuuksien määritelmä – testiyksikkö

Uudelleenkäytettäviä teräsosia on pidettävä kokonaisuutena edellyttäen, että ne ovat peräisin samasta rakenteesta ja täyttävät seuraavat vaatimukset:

- Vuoden 1970 jälkeen asennettu rakenneteräs,
- ovat samaa sarjaa,
- Sama rakenteellinen toiminto, esim. kattotuolit, lattiapalkit, pilarit, jäykisteet jne.,
- Identtiset yksityiskohdat (pituus, liitokset jne.),
- Paikallisia jäykisteitä ei pidetä vahingollisina kokonaisuuksille.

Jos markkinoille saatetaan alun perin vaihtoehtoisen spesifikaation/tuotestandardin (muun kuin EN-standardien) mukaisesti valmistettuja teräsrakenteita, eri tuotestandardien mukaisesti valmistettua materiaalia ei pitäisi sekoittaa ryhmän sisällä – kaikkien ryhmän materiaalien alkuperän ja valmistusstandardien on oltava yhdenmukaisia.

Kokonaisuuden paino olisi oltava enintään 20 tonnia. Tarvitaan useita 20 tonnin ryhmiä, jos suuria määriä samoja osia puretaan. Tällä tavoin testattavan määrittely mahdollistaa tiettyjen materiaaliominaisuuksien määrittämisen kokonaisuudelle testaamalla yhtä tai useampaa kokonaisuutta edustavaa osaa. Kylmämuovattujen osien osalta ryhmän painon olisi oltava enintään 4 tonnia.

Tässä protokollassa "kokonaisuuden" käsitteellä on erityinen merkitys, kuten edellä on todettu. Tuotestandardeissa, kuten EN 10025-2 tai EN 10346 -kohdassa, samanlainen termi on "testiyksikkö", joka tarkoittaa terästuotteiden kokonaisuutta, jonka kokonaispaino on määritelty ja joiden kokonaispaino on sama muoto, laatu sekä toimitusolosuhteet. "Testiyksikkö" voi sisältää eripaksuisia tuotteita, kun taas tässä protokollassa "kokonaisuus" on rajoitettu saman sarjakoon osiin. Tuotestandardeissa testit on määritelty suoritettavaksi testiyksikössä olevista näytteistä; Tässä protokollassa määritellään testit, jotka on suoritettava uudelleenkäytettävien osien kokonaisuuden näytteistä.

A.4 Mekaanisten ja kemiallisten ominaisuuksien testaustekniikat

A.4.1 Yleistä

Rakennuksen teräksen ominaisuuksissa voi olla merkittävää vaihtelua, vaikka kaikki osat olisivat samojen spesifikaatioiden ja materiaalilaatujen mukaisia. On tarpeen määrittää materiaalin ominaisuuksia rakenteessa todennäköisten tilastollisten jakaumien perusteella keskiarvoilla ja variaatiokertoimilla. Materiaalispesifikaatio ja rakenneosan laatu sekä sen likimääräinen ikä riittävät näiden ominaisuuksien määrittämiseen lähes kaikissa arvioinneissa.

Jos alkuperäiset rakennusasiakirjat, mukaan lukien piirustukset ja tekniset tiedot, on saatavilla, materiaalitestejä ei yleensä tarvitse suorittaa. Jos materiaalin ominaisuuksia ei ole selkeästi ilmoitettu piirustuksissa ja spesifikaatioissa tai piirustuksia ja eritelmiä ei ole saatavilla, voidaan olettaa taulukossa 5.7 esitetyt materiaalilaadut. Vaihtoehtoisesti voidaan suorittaa rajoitettu materiaalinäytteen poisto- ja testausohjelma näiden materiaalien todennäköisten laatujen vahvistamiseksi.

Jos näytteenotto suoritetaan, se tulee suorittaa alueilla, joilla on pienempi jännitys pienentyneen alueen vaikutusten minimoimiseksi, kuten päätylaipat yksinkertaisesti tuettujen palkkien päissä, laipan reunat momentinkestävien kehien keskijänteellä ja levyjen reunat.

A.4.2 Ainetta rikkomaton ja minimaalinen tunkeutuva testaus materiaalin ominaisuuksille

Rikkomaton kovuustestaus soveltuu teräksen lopullisen vetolujuuden arviointiin. Taulukko A.4 esitetään yhteenveto joistakin vaihtoehtoisista ainetta rikkomattomista tekniikoista, joita voidaan käyttää uudelleenkäytettävän teräksen ominaisuuksien arvioimiseen.

Taulukko A.4 Mahdolliset ainetta rikkomattomat tekniikat

Tekniikka	Kuvaus	Kommentit/arvo
Kovuuden testaus	Jäljen halkaisija mitataan, kun karkaistua teräspalloa painetaan sileää pintaa vasten tunnetulla voimalla.	Antaa kovuusluvun, esim. Vickers ISO 6507 -standardin mukaisesti [103] kovuus, joka osoittaa materiaalin murtolujuuden. Vickersin testimenetelmä on ilmoitettu standardissa EN 1090-2. Muita vaihtoehtoja ovat Rockwell ISO 6508 [104] ja Brinell ISO 6505 [105] Testausmenetelmät. Katso myös ASTM 1038:2017 [106].
Positiivinen metallin tunnistus	Käyttää röntgenfluoresenssia ja optista emissiospektrometriaa metalliseoskoostumuksen määrittämiseen ja laadun tunnistamiseen lukemalla sen alkuaineiden suuret prosentteina.	Oleellinen teräsrakenteosien hitsattavuuden karakterisoinnissa hiilikvivalentin funktiona. Antaa lisätietoja teräksen tyypistä ja siihen liittyvistä fysikaalisista ominaisuuksista sekä sen seosmateriaaleista. ISO 19272 -standardi [107]. Katso ASTM E572 [108] ja ASTM 1476 [109].
Instrumentoitu indentaatiomenetelmä	Instrumentoidut laitteet käyttävät samanlaista tekniikkaa kuin kovuustesti, jossa mitataan kuormitus ja tunkeutuminen toistuvissa lastaus- ja purkujaksoissa.	Testin tulos sisältää jännitys-venymäsuhteen, kimmomodulin, kovuuden ja jäykkyuden. Katso ISO 14577-5 [110].
Small Punch Test (SPT)	Lävistystestissä käytetään keraamista palloa, joka on painettu pienen pyöreän	Laskelma standardin prEN 15627 mukaan [111], [112] voidaan käyttää teräksen myötö-

	näytteen (halkaisija 8 mm, paksuus 0,5 mm) pintaa vasten. Jännitys-venymäsuhde johdetaan sitten mitatusta kuormituksesta ja pallon siirtymästä.	ja vetolujuuden ennustamiseen. Vetokappaleen ekvivalentti jännitys-venymäsuhde voidaan saada edistyneemmällä FEM-mallinnuksella.
--	---	--

A.4.2 Ainetta rikkova materiaalitestaus

Rikkova testaus (DT) -tekniikat edellyttävät pienten näytteiden ottamista olemassa olevasta rakenteesta. Mahdolliset DT-tekniikat on määritelty alla olevassa taulukossa (ks. taulukko A.5). Testattavaksi tarkoitetut näytteet otetaan leikkaamalla tai poraamalla. On tärkeää ottaa huomioon testitulosten todennäköinen arvo suhteessa rakenteen mahdollisiin vaurioihin, esimerkiksi haurastumiseen lämpenemisen seurauksena, kun näyte poistetaan polttoleikkauksella, ja voisivatko epäsuorat menetelmät olla tarkoituksenmukaisempia. Mekaaniset ja metallurgiset ominaisuudet voidaan yleensä selvittää laboratoriotesteillä samasta näytteestä. Tietoja teräsnäytteiden ottamisesta löytyy asiaankuuluvista standardeista, esimerkiksi teräkselle, katso EN 10025.

Taulukko A.5 Mahdolliset ainetta rikkovan testauksen (DT) tekniikat

Tekniikka	Kuvaus	Kommentit/arvo
Vetokoe	Vetokokeet näytteillä, jotka tarjoavat myötölujuuden ja lopullisen vetolujuuden, kimmomoduulin, tasaisen venymän ja venymän rikkoutumishetkellä.	Materiaalitodistusten puuttuessa. Katso testin yksityiskohdat standardista EN ISO 6892-1 [113].
Kemiallisen koostumuksen analyysi	Hiilen, piin, mangaanin, rikin ja fosforin testaus.	Oleellinen materiaalin tunnistamiseksi ja teräksen hitsattavuuden tarkistamiseksi hiiliekvivalentin funktiona sekä epäpuhtaustasot. Testit suoritetaan porauksella lastuilla tai raaputuksilla. Se tarjoaa lisätietoja teräksen tyypistä ja siihen liittyvistä fysikaalisista ominaisuuksista. Katso EN ISO 14284 [114].
Charpy-iskutesti	Hauraus ja iskutkeys lämpötila-alueella, joka määritetään mittaamalla energia, joka tarvitaan tavallisen U- tai V-lovetun näytteen murtamiseen heilurin iskulla.	Mahdollistaa teräksen laadun karakterisoinnin, kun materiaalitodistuksia ei ole saatavilla. Katso testin yksityiskohdat standardista EN ISO 148-1 [115]. Iskutkeyttä voidaan testata myös pienillä näytteillä ja tulokset voidaan laskea uudelleen vastaamaan täysikokoisten testien käyttäytymistä.
Metallografia	Keskimääräisen raekoon määrittäminen	Materiaalin sisäisen rakenteen määrittäminen mikroskooppisella tutkimuksella näytteestä, jolla on yksi tasainen pinta. Katso ASTM E 112 [116].

A.5 Testausprotokollat

Neljä testausprotokollaa, A–D, on kuvattu CEN / TS 1090-201:ssä [2]. Suositukset tietyn protokollan valitsemiseksi on annettu alla, ja ne on kuvattu Kuva. 5.3. Jos alkuperäinen rakenne on toteutettu standardin EN 1090-2 mukaisesti ja rakenneosien laadut ja/tai ominaisuudet voidaan tunnistaa, komponentin ominaisuuksien ilmoittamiseen voidaan käyttää standardin EN 10204 mukaisia alkuperäisiä tarkastusasiakirjoja, katso testausprotokolla A kohdassa 5.3.4.3 CEN / TS 1090-201 [2]. Rakenneosat, joiden alkuperä tunnetaan, tulisi ryhmitellä testiyksiköihin CEN / TS 5.3.4.2:n 1090-201 kohdan mukaisesti [2].

Kun ainakin osien maantieteellinen sijainti, rakennusvuosi ja entinen käyttötarkoitus ovat tiedossa voidaan olettaa alkuperän olevan tiedossa. Testiyksikön yhdelle tai muutamalle osalle tehdyt mittaukset voivat olla ilmoitettujen ominaisuuksien perustana kyseisen testiyksikön osille (ks. CEN/TS 1090-201:n 5.3.4.4 ja 5.3.4.5 kohta) [2]).

Tyyppin 1 ja tyyppin 2 rakenneteräkset on erotettava toisistaan.

Tyyppin 1 rakenneteräksen mekaanisten ominaisuuksien ja hitsattavuuden voidaan odottaa olevan samanlaisia kuin standardin EN 5.3:2018+A1:2024 kohdassa lueteltujen eurooppalaisten standardien mukaisilla teräslajeilla. Niiden mekaanisten ominaisuuksien vaihtelun voidaan olettaa olevan standardin EN 1993-1-1 liitteen E mukainen.

Tyyppin 1 rakenneteräksen mekaaniset ominaisuudet voidaan määrittää testaamalla yksi edustava näyte 5.3.4.4 kohdassa esitetyn testausprotokollan B mukaisesti CEN / TS 1090-201 [2].

Tyyppin 2 rakenneteräksen ominaisuuksien vaihtelua ei voida luotettavasti olettaa, ja olisi tehtävä lisää testejä sekä tulosten tilastollinen analyysi 5.3.4.5 kohdan C-protokollan mukaisesti CEN / TS 1090-201 [2].

Rakenneosia, joiden alkuperää ei tunneta, ei saa ryhmitellä testiyksiköihin, ja kattava testaus vaaditaan 5.3.4.6 kohdan D protokollan mukaisesti CEN / TS 1090-201 [2].

Myötörajan, lopullisen vetolujuuden, venymän ja kemiallisen koostumuksen vaihtoehtoinen testausmenetelmä seuraamusluokalle on esitetty [117].

A.6 Kattava lujuuden ja venymän testaus

A.6.1 Johdanto

Materiaalin lujuutta ja venymää voidaan arvioida sekä ainetta rikkovilla että rikkomattomilla testeillä. Seuraavassa osiossa annetaan ohjeita molemmista testaustyypeistä.

A.6.2 Luotettavuuden arviointi – kuumavalssatut ja putkituotteet

Ainetta rikkomattomien ja rikkomattomien testien tuloksia on verrattava Taulukko A.6 teräslaadun määrittämiseksi. Vähimmäisarvot määritetään vähentämällä keskiarvoa 1,64-kertaiseksi kunkin teräslaadun osalta Taulukko A.7 mukaan.

Taulukko A.6 Myötörajan ja vetolujuuden suositellut vähimmäisarvot kuumavalssattujen ja putkituotteiden luotettavuuden arviointia varten

Teräsl aatu	Myötöraja (N/mm ²)			Lopullinen murtolujuus (N/mm ²)			f_u/f_y mean	Viitestandardi
	f_y s f_y Design	Min.	Keskia rvo	f_u Design	Min.	Keski arvo		
S235	235	267	293	360	397	432	1.47	EN 10025-2; EN 10219
S275	275	313	343	410	452	492	1.43	EN 10025-2; EN 10219
S355	355	391	426	470	505	540	1.26	EN 10025-2; EN 10219
S460	460	490	529	540	560	594	1.12	EN 10025-3/4; EN 10219

Taulukko A.7 Teräksen ominaisuuksia koskevat tiedot viitteen mukaan [118]

Teräslaatu	Myötölujuus		Vetolujuus	
	Keskisarvo (X ominaisarvo)	CoV	Keskisarvo (X ominaisarvo)	CoV
S235	1.25	0.055	1.20	0.050
S275	1.25	0.055	1.20	0.050
S355	1.20	0.050	1.15	0.040
S460	1.15	0.045	1.10	0.035

A.6.3 Luotettavuuden arviointi – kylmämuovattut tuotteet

Ainetta ei-rikkovien ja rikkomattomien testien tuloksia on verrattava taulukossa A.8 esitettyihin vähimmäisarvoihin teräslaadun määrittämiseksi. Vähimmäisarvot määritetään vähentämällä keskiarvoa 1,64-kertaiseksi kullekin teräslaadulle Taulukko A.7 mukaan.

Koska nurjahduskäyrät eivät riipu kylmämuovattujen teräsosien myötörajoista standardin EN 1993-1-3 mukaisesti, keskimääräisen lujuuden (myötö ja veto) ja variaatiokertoimen keskiarvoja ehdotetaan kaikille teräslajeille luokkaan S450 asti Taulukko A.9.

Taulukko A.8 Myötörajan ja vetolujuuden suositellut vähimmäisarvot kylmämuovattujen terästuotteiden luotettavuuden arviointia varten

Teräslaatu	Myötöraja [N/mm ²]			Vetolujuus [N/mm ²]			f_u/f_y mean	Viite standardi
	f_y Design	Min.	Keskisarvo	f_u Design	Min.	Keskisarvo		
S220	220	226	242	300	303	330	1.364	EN 10346
S250	250	257	275	330	333	363	1.320	
S280	280	288	308	360	364	396	1.286	
S320	320	329	352	390	394	429	1.219	
S350	350	360	385	420	424	462	1.200	
S390	390	401	429	460	465	506	1.179	
S420	420	432	462	480	485	528	1.143	
S450	450	463	495	510	515	561	1.133	

Taulukko A.9 Teräksen ominaisuuksia koskevat tiedot viitteen mukaan

Teräslaadut	Myötölujuus		Vetolujuus	
	Keskiarvo (X ominaisarvo)	CoV	Keskiarvo (X ominaisarvo)	CoV
S220 - S450	1.10	0.04	1.10	0.05

A.6.4 Ainetta rikkomattomat kovuustestit

Johdanto

Jokaiselle talteen otetulle osalle on tehtävä ainetta rikkomaton kovuustesti teräksen myötörajan ja lopullisen myötölujuuden arvon määrittämiseksi. Mitatun kovuuden ja teräksen lujuuden välillä on suhde, jota pidetään riittävän tarkkana materiaalilaadun määrittämiseksi. Mitatun kovuuden ja materiaalin lujuuden välinen suhde riippuu suoritettujen kovuustestien tyypistä.

Kovuustestaus tulee suorittaa uudelleenkäytettäville osille paikoissa, joissa jännitys on ollut pienempi käytön aikana. Yksinkertaisesti tuetuille palkeille suositellaan testejä läheltä palkin päätä. Mahdollinen pintakäsittely on poistettava testattavalta alueelta.

Materiaalin kovuustulos tulee ottaa kolmen samassa paikassa tehdyn mittauksen keskiarvona. Pinnoitteet on poistettava mittausten mahdollistamiseksi.

Otannan kunkin osan tulokset on arvioitava standardin EN 1990 mukaisesti, jotta voidaan määrittää edustava arvo koko otannalle. Kun kovuusarvo on määritetty, myötöraja ja vetolujuus on laskettava ja verrattava vähimmäisarvoihin Taulukko A.6 mukaan ja Taulukko A.8 mukaan teräslaadun määrittämiseksi.

Kovuustestien tulosten arviointi

Yksittäisen osan kovuutta tulisi pitää kymmenen mittauksen keskiarvona. Jos tämä yksittäisen osan keskiarvo poikkeaa yli 10 % otannan keskiarvosta, yhteensopimaton osa on poistettava ryhmästä.

Otannan kovuuden *ominaisarvo* H_v määritetään standardin EN 1990 taulukon D.1 mukaisesti olettaen, että V_x tuntematon, ja lasketaan seuraavalla lausekkeella:

$$H_v = m - k_n S_x \quad (\text{A.1})$$

missä:

H_v on ryhmän kovuuden ominaisarvo;

m on ryhmän keskiarvo (ryhmän jäsenten keskimääräinen kovuus);

S_x on tulosten keskihajonta;

k_n otetaan standardin EN 1990 taulukosta D1 " V_x tuntematon", esitetään Taulukko A.10 mukaan.

Taulukko A.10 Arvot k_n 5 %:n ominaisarvolle (EN 1990, taulukko D.1)

Ryhmän jäsenten lukumäärä (n)	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	∞
V_x tuntematon	–	–	3.37	2.63	2.33	2.18	2.00	1.92	1.76	1.73	1.64

Testausmenetelmänä voidaan käyttää ultraäänikovuustestiä. Kaikkien osien Vickersin kovuus testataan EN ISO 6507 -standardin mukaisesti [103].

Kovuuden ja materiaalin lujuuden välinen korrelaatio

EN ISO 18265:2013 [120], liite A sisältää muuntotaulukot kovuudesta lopulliseen vetolujuuteen. Muunnokseen liittyy huomattavaa hajontaa, ja saatu lopullinen vetolujuus on vain informatiivinen.

Vaihtoehtoisesti viite [119] esittää Vickersin kovuustestin ja lujuuden välisen suhteen, jota käytetään materiaalin ominaisuuksien arvioimiseen.

Kuitenkin CEN / TS 1090-201 [2] ei suosittele tätä lähestymistapaa.

A.6.7 Ainetta rikkovat vetokokeet: ei-tilastollinen ja tilastollinen testaus

Johdanto

Näytteiden sijainti ainetta rikkovia testejä varten tulisi valita tuotestandardin suositusten mukaisesti. Standardin EN 10025-1 liite A antaa ohjeita kuumavalssatuista osista ja levyistä. Standardin EN 10219-1 liite C antaa ohjeita kylmämuovatuille hitsatuille putkiprofiileille, kun taas standardin EN 10210-1 liite C antaa ohjeita kuumamuovatuille putkiprofiileille.

Ainetta rikkovia vetokokeita käytetään seuraavien teräksen ominaisuuksien määrittämiseen:

- Myötöraja;
- Vetolujuus;
- Myötörajasuhde;
- Venymä rikkoutuessa.

Ainetta rikkovat vetolujuustestit on suoritettava standardin EN ISO 6892-1 mukaisesti [113]. Testinäytteiden sijainnit rakenteessa voidaan määrittellä ISO 377 -standardin mukaisesti [121]. Myös asiaankuuluvan tuotestandardin ohjeita voidaan noudattaa, esimerkiksi EN 10025 tai EN 10219.

Ilmoitetun myötörajän, vetolujuuden ja venymän tulee perustua ainetta rikkovien testien tuloksiin, ei rikkomattomiin kokeisiin. Ilmoitetun myötörajän ja vetolujuuden olisi oltava määritetyille teräslaadulle asianmukaisessa tuotestandardissa annettuja lujuuksia, jotka määritetään rikkovien testien tulosten perusteella, ei rikkomattomien testien perusteella.

Huomautuksena on huomattava, että jos uudelleenkäytettävä osa ei ole tietyn tuotestandardin, kuten EN 10025-2, mukainen, osaa voidaan silti käyttää, kunhan asiaankuuluvat materiaaliominaisuudet on ilmoitettu standardin EN 1090-2 kohdan 5.1 mukaisesti. Esimerkiksi, jos ainetta rikkovalla testillä mitattu rikkoutumisvenymä ei ole standardin EN 10025-2 vähimmäisarvojen mukainen tietylle teräslaadulle, mutta jos mitattu venymä on sellainen, että standardin EN 1993-1-1 vähimmäisarvot kimmo-plastista kokonaisanalyysiä varten täyttyvät (ks. Taulukko 5.1), kierrätysterästä voidaan edelleen käyttää uudelleen.

Ei-tilastollinen testaus

100-prosenttisesti ainetta rikkomattoman testauksen lisäksi tarvitaan yksi rikkova testi (joka on tehty mistä tahansa otannan osasta), jotta voidaan noudattaa vähimmäisarvoja Taulukko

A.6 tai Taulukko A.8 mukaan. Yksittäisellä testillä ei ole tilastollista arvoa, joten sitä kuvataan "ei-tilastolliseksi".

Ei-tilastollinen ainetta rikkova testaus (*eli* yksi rikkova testi ryhmästä) suositellaan teräkselle, jota käytetään seuraamusluokan 1 tai seuraamusluokan 2 rakenteissa. Tyypin 1 rakenneteräksen mekaaniset ominaisuudet voidaan määrittää testaamalla yksi edustava näyte CEN / TS 1090-201:n 5.3.4.4 testausprotokollan B mukaisesti [2].

Ei-tilastollista testausmenettelyä ei suositella kylmämuovatuille osille.

Tilastollinen testaus – vetokokeen tulosten arviointi

100-prosenttisesti ainetta rikkomattoman testauksen lisäksi vaaditaan vähintään kolme rikkovaa testiä, jotka tehdään ryhmän osille. Testien määrän lisääminen parantaa laskettujen arvojen tarkkuutta ja johtaa yleensä korkeampiin arvoihin.

Koko ryhmän myötörajan ja lopullisen lujuuden ominaisarvo määritetään standardin EN 1990 taulukon D1 mukaisesti olettaen, että " V_x tiedossa" ja lasketaan seuraavalla lausekkeella:

$$X_d = m - k_n S_x \quad (\text{A.2})$$

missä:

X_d – on ominaisarvo myötörajalle tai murtolujuudelle;

m – on näytteen keskiarvo;

S_x – on keskihajonta;

k_n – otetaan standardin EN 1990 taulukosta D1 seuraavasti: " V_x tunnettu", esitetään muodossa Taulukko A.11.

Taulukko A.11 Arvot k_n 5 %:n ominaisarvolle (EN 1990, taulukko D.1)

DT:n lukumäärä	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	∞
V_x tunnettu	2.31	2.01	1.89	1.83	1.80	1.77	1.74	1.72	1.68	1.67	1.64

" V_x tunnettu" -*san*an käyttö on perusteltua, koska sekä myötörajan että murtolujuuden variaatiokerroin tunnetaan.

Jos tilastollinen testaus on suoritettu, ainetta rikkovien testien laskettuja arvoja tulee käyttää teräslaadun määrittämiseen Taulukko A.6 tai Taulukko A.8.

A.7 Iskun sitkeys

Ellei ainetta rikkovia testejä suoriteta, on oletettava, että teräs on standardin EN 1993-1-10 mukaista JR-laatua. Rikkovien testien suorittamisesta voi olla taloudellista hyötyä sen osoittamiseksi, että uusioteräs on sitkeämpää laatua, erityisesti paksummissa osissa.

Tarvittaessa tulee käyttää ainetta rikkovia testejä ryhmän osien teräksen laadun määrittämiseksi yhden edustavan jäsenen testauksen perusteella. Standardin EN 10025-1 mukaan testaustarkoituksiin tarvitaan kuusi näytettä, jotka on otettu standardin EN 10025-1 liitteessä A määritellyistä paikoista.

Erässä jokaista 20 tonnia kohden on käytettävä yhtä testisarjaa (kuusi näytettä) yhdellä osalla Charpy-arvon määrittämiseksi kaikille kyseisen erän osille. Charpy-testi tulee suorittaa standardin EN ISO 148-1 mukaisesti [115].

A.8 Kemiallinen koostumus

A.8.1 Johdanto

Uudelleenkäytettävän teräksen kemiallinen koostumus on määritettävä siten, että hiili- ja manganipitoisuus voidaan laskea standardin EN 10025-1 kohdassa 7.2.3 tai standardin EN 10219-1 kohdassa 6.6.1 esitettyllä lausekkeella.

Kemiallinen koostumus on arvioitava ainetta rikkovilla ja rikkomattomilla tekniikoilla. Ryhmän CIV:tä olisi pidettävä kaikkien testien enimmäis-CEV:nä, mukaan lukien sekä ainetta rikkomattomat että rikkovien testien tulokset.

Kunkin yksittäisen jäsenen kemiallinen koostumus on testattava ja kirjattava. Jos yksittäisen jäsenen mitattu hiili- tai mangaanipitoisuus poikkeaa yli 10 % ryhmän keskiarvosta, epä johdonmukainen jäsen on poistettava ryhmästä.

Teräksen kemiallinen koostumus on standardien EN 10025 ja EN 10219 kohdassa 6.6.1. Kylmämuovatuissa tuotteissa voidaan käyttää standardia EN 10346, jossa saman standardin taulukossa 2 esitetään rakenneterästen odotettu kemiallinen koostumus.

Kylmämuovattujen kemiallisen koostumuksen ilmoittamista ei tarvitse arvioida, jos teräsrakennetta ei hitsata.

A.8.2 Ainetta rikkomattomat testit kemiallisen koostumuksen määrittämiseksi

Optisen emissiospektroskopian avulla voidaan määrittää teräskappaleen kemiallinen koostumus. Vaikka tätä tekniikkaa pidetään rikkomattomana testimenetelmänä, teräksen pinnalle jää pieni purse.

Kemiallinen koostumus voidaan arvioida ISO 19272 -standardin mukaisesti [107].

A.8.3 Ainetta rikkomattomat testit kemiallisen koostumuksen määrittämiseksi

Teräksen kemiallinen koostumus voidaan määrittää analysoimalla poraamalla saatuja lastuja. Osa tulee porata matalan rasituksen paikkaan. Kemiallinen koostumus voidaan arvioida standardin EN ISO 14284 mukaisesti [114].

A.9 Geometriset toleranssit

A.9.1 Poikkileikkauksen mitat

Poikkileikkauksen mitat (syvyys, leveys, laipan paksuus, uuman paksuus, seinämän paksuus jne.) on mitattava kaikille osille. Teräksen toimittajan on annettava ilmoitus mitatuista mitoista.

Jos poikkileikkauksen mitat jäävät tuotestandardin mukaisten sallittujen poikkeamien ulkopuolelle, poikkileikkauksominaisuuksien määrittämiseen tulee käyttää mitattuja mittoja.

A.9.2 Taipumien epätarkkuudet (suoruuden puute)

Jokaisen osan suoruus molemmilla akseleilla on mitattava ja verrattava standardin EN 1090-2 sallittuihin poikkeamiin. Sallittujen poikkeamien ulkopuolelle jäävät osat tulee oikaista osana valmistusprosessia.

A.10 Kylmämuovattuja terästuotteita koskevat lisäohjeet

A.10.1 Metallipinnoitteen koostumus, nimitys ja kerrosmassa

Metallipinnoitteen koostumus on määriteltävä standardin EN 10346 mukaisesti (esimerkiksi Z, ZF, ZA, ZM, AZ, AS). Standardin EN 10346 kohdassa 3 määritellään kunkin pinnoitetyypin tärkeimmät kemialliset komponentit. Kaikki osat on testattava ainetta rikkomattomilla testimenetelmillä.

Pinnoitekerroksen painon arvioinnissa on otettava huomioon standardin EN 7.3 kohta 10346. Yksittäisen pisteen pinnoitteen vähimmäismassan arvoa voidaan käyttää todellisen pinnoitteen nimityksen arvioimiseen. Pinnoitteen paksuuden arvioinnissa on sovellettava standardin EN 10346 kohdan 7 suosituksia. Maalipinnoitettujen teräksien kalvon paksuus voidaan arvioida standardin EN 13523-1 mukaisesti [122].

A.10.1 Taivutussäteen ja ainevahvuuden suhde ja metallipinnoitteen tarttuvuus

Koska uudelleenkäytettävä teräsrakenne on jo taipunut, kullekin talteen otetulle osalle on tehtävä silmämääräinen tarkastus mahdollisten halkeamien ja pinnoitteen tarttuvuuden arvioimiseksi taivutusalueen lähellä. Taipuvissa kohdissa ei saa olla paljaalla silmällä näkyviä halkeamia (EN1090-4 kohta 6.1). Tartunta-arvioinnin tavoitteena on havaita kaikki "täydellistä" pienemmät tarttuvuudet. Tämä voi olla repimistä, vasarointia, taivuttamista, hakkaamista, kuumentamista, sahaamista, hiontaa, vetämistä, talttaamista tai näiden menetelmien yhdistelmää. Jos pinnoite kuoriutuu, hilseilee tai nousee alustasta, tarttuvuus ei ole täydellinen. Standardin EN 10346 kohdassa 7.10 täsmennetään, että pinnoitteen tarttuvuus on testattava käyttämällä "asianmukaista menetelmää" ja viitataan siihen, että menetelmän valinta on "jätetty valmistajan harkintaan". Katso myös viitteet [123] ja [124].

A.11 Uudelleenkäytettävän teräksen arviointi Taulukkokirjan D mukaisesti

A.11.1 Kuumavalssatut ja putkiprofiilit

Rakenneteräksen osalta, jonka alkuperää ei tunneta, analyysissä ja suunnittelussa voidaan käyttää varovaisia oletuksia materiaalin ominaisuuksista. Konservatiiviset materiaaliominaisuudet Taulukko A.12 voidaan olettaa.

Taulukko A.12 Suositellut materiaaliominaisuudet testaamattomalle rakenneteräkselle

Materiaali	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]	G [N/mm ²]	E [N/mm ²]	ϵ_{uk} [%]	ν	ρ [kg/m ³]	α_T [10 ⁻⁶ /°C]
Teräs – Osat	235	360	81000	210000	15+	0.30	7850	10
Teräs – Hitsit	–	360	–	–	–	–	–	–

Rakennuksen iän ja sijainnin perusteella voidaan käyttää paikallisia standardeja myötörajan ja vetolujuuden konservatiivisen arvon perustana.

A.11.2 Kylmämuovatut tuotteet

Koska uudelleenkäytettävissä kylmämuovatuissa teräsrakenteissa on todennäköisesti saatavilla laaja valikoima teräslajeja, ei ole suositeltavaa olettaa, että myötörajana ja vetolujuutena on yli 120 MPa ja 260 MPa. Katso lisätietoja standardista EN 10346, osa 7 ja EN 1993-1-3, osa 3.

A.11.3 Hitsatut liitokset

Jos testausta ei tehdä, uudelleenkäyttöskenaariossa on mieluiten vältettävä hitsaustoimenpiteitä. Tapauksissa, joissa hitsausmenetelmiä tarvitaan, voidaan olettaa, että CEV:n arvo on 0,51 (perustuu vuoden 1969 BS 4360:een). [57]). CEV:n oletetun arvon arvioimiseksi voidaan käyttää mahdollisimman vähän ainetta rikkomattomia testejä.

Liite B

Uudelleenkäytettävässä teräsrakenteessa käytettävän kappaleen nurjahduksen osavarmuuskerroin (yleinen)

B.1 Osavarmuuskertoimen tausta standardin EN 1990 mukaan

Tässä lisäyksessä esitetään menetelmä modifioidun osavarmuuskertoimen $\gamma_{M1,mod}$ johtamiseksi kappaleiden kestävyydelle uudelleenkäytettyjen teräsosien epävakautta vastaan. Tämä perustuu standardin EN 1990 periaatteisiin, ja alla olevat viittaukset koskevat tätä koodia. Se määrittelee osavarmuuskertoimen γ_M materiaaliominaisuudelle, joka ottaa huomioon myös mallin epävarmuudet ja mittavaihtelut. Lausekkeen 8.3.5(2) mukaan

$$\gamma_M = \gamma_{Rd} \gamma_m \quad (\text{B.1})$$

jossa γ_m on osavarmuuskerroin materiaalin lujuudelle;
ja γ_{Rd} on osavarmuuskerroin, joka kattaa mallin epävarmuuden sekä geometriset poikkeamat, jos niitä ei ole mallinnettu eksplisiittisesti.

EN 1090 ei määrittele arvoa γ_{Rd} koska se riippuu rakennusmateriaaleista ja rakenneosan käyttäytymisestä. Tyypillisesti teräsrakenteissa se vaihtelee välillä 1,05 ja 1,15 [125]. Osavarmuuskerroin γ_m saadaan lausekkeesta 8.3.6:

$$\gamma_m = \frac{X_k}{X_d} \quad (\text{B.2})$$

missä γ_m on materiaalin tai tuotteen ominaisarvo;
 X_d on materiaalin tai tuotteen suunnitteluarvo.

Osavarmuuskertoimelle γ_{M1} , X_k on teräslaadun nimellinen myötöraja $f_{y,nom}$, ja X_d määritellään C4.4.2(3) kohdan yhtälössä (C.14) normaalijakaumalle:

$$X_d = \bar{X} (1 - \alpha_R \beta V_X) \quad (\text{B.3})$$

missä \bar{X} on materiaalin tai tuotteen ominaisuuden keskiarvo;
 α_R on materiaaliominaisuuksien tärkeyskerroin, jonka arvot ovat välillä 0 (ei merkitystä) ja 1 (suurin merkitys); Lausekkeen C4.4.2(3) mukaan arvo on 0,8;
 β on tavoiteluotettavuusindeksi;
 V_X on materiaalin tai tuotteen ominaisuuden variaatiokerroin.

B.2 Selvennys $\gamma_{M1,mod}$, uudelleenkäytettävän teräksen suunnitteluun

Osavarmuuskertoimen arvo riippuu tavoiteluotettavuusindeksin arvosta ja kappaleen kestävyysvaikutavien parametrien epävarmuuksista, kuten mittoihin ja materiaalin ominaisuuksiin liittyvistä epävarmuuksista.

Jos käytetään CEN TS 1090-201:n arviointiprotokollia [2] voidaan olettaa, että ominaisuuksien epävarmuus on vähintään samanlainen kuin uusissa profiileissa. Sen

vuoksi on järkevää ottaa huomioon osavarmuuskertoimen sama arvo kuin uusissa profiileissa.

Toisissa tapauksissa luotettavuutta voi olla tarpeen arvioida tapauskohtaisesti.

RFCS:n PROGRESS-hankkeessa [54] Ehdotetaan yksinkertaistettua lähestymistapaa, joka johtaa muutettuun osavarmuuskertoimeen. Voidaan olettaa, että mallin epävarmuuden ja geometrisen poikkeaman osavarmuuskerroin saa maksimiarvon 1,15, jos uudelleenkäytettyjen teräsosien odotetut geometriapoikkeamat ovat huolenaihe stabiilisuuden todentamisessa osavarmuuskerroin $\gamma_{M1,mod}$ lasketaan. Tämä kerroin määritellään seuraavasti:

$$\gamma_{M1,mod} = K_{\gamma_{M1}} \gamma_{M1} \quad (B.4)$$

missä $K_{\gamma_{M1}}$ on korjauskerroin

Korrelaatiokerroin voi näin ottaa varman puolen arvon 1,15.

$$K_{\gamma_{M1}} = 1.15 \quad (B.5)$$

Näin ollen saadaan osittaisen kertoimen muunnettu arvo 1,15.

$$\gamma_{M1,mod} = 1.15 \quad (B.6)$$



**Funded by
the European Union**

ADVANCE-hankkeen tavoitteena on edistää kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistä ja kiertotaloutta koskevia tavoitteita vastaamalla näihin haasteisiin sekä olemassa olevien teräsrakennusten purkamisen ja uudelleenkäytön yhteydessä, että helpottamalla näiden tulevaa uusiokäyttöä uusien rakennusten suunnittelun, rakentamisen ja dokumentoinnin yhteydessä. Sen soveltamisalaan kuuluu rakennustuotteiden, komponenttien ja kokoonpanojen uudelleenkäyttö. Uudelleen käytettävä materiaali voi olla peräisin primäärirakenteista, sekundäärirakenteista ja vaipparakenteista. Terästeollisuuden kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisestä on tullut viime vuosina yhä olennaisempaa erityisesti rakennustuotteiden osalta, jotka ovat suurin yksittäinen ympäristöjalanjäljen aiheuttaja. Rakennusala tarjoaa mahdollisuuden vakiinnuttaa teräspohjaiset teknologiat johtavaan asemaan muiden teräsratkaisuista riippuvaisten teollisuudenalojen hiilijalanjäljen pienentämisessä.



EUROPEAN CONVENTION FOR CONSTRUCTIONAL STEELWORK
CONVENTION EUROPÉENNE DE LA CONSTRUCTION MÉTALLIQUE
EUROPÄISCHE KONVENTION FÜR STAHLBAU

publications@steelconstruct.com | www.steelconstruct.com

TC14 on ECCS:n tekninen komitea teräsrakentamisen kestävydestä ja ekotehokkuudesta. Komitean tavoitteena on edistää sellaisten teollisuuden, tutkimus- ja opetusyhteisöjen kehitystä, jotka vahvistavat kestävästä teräsrakentamisen osaamista ja valmiuksia. Aihepiirin laajuus koostuu muun muassa seuraavista näkökohdista: Rakennuksen kokonaissuorituskyvyn hallinta koko elinkaaren aikana; Parantunut ympäristötehokkuus; Sisäilman korkea laatu ja mukavuus; Energiatehokkuus; Resurssien ja raaka-aineiden käytön minimointi.