

ECCS
CECM
EKS



Funded by
the European Union

SUOSITUKSET TERÄSTUOTTEIDEN UUELLEENKÄYTTÖÖN

— Osa 2: Rakennusten suunnittelu- ja purkamisen suositukset tulevan purkamisen ja uudelleenkäytön helpottamiseksi —

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

ADV2-FI | 2025



ECCS TC14

Teräsrakentamisen kestävyys ja ekotehokkuus

Suosituksset terästuotteiden uudelleenkäyttöön

Osa 2: Rakennusten suunnittelusuositukset tulevan purkamisen ja uudelleenkäytön helpottamiseksi

2. painos, 2025



Suositukset terästuotteiden uudelleenkäyttöön

Osa 2: Rakennusten suunnittelusuositukset tulevan purkamisen ja uudelleenkäytön helpottamiseksi

Nro 147, 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: 978-92-9147-209-3

Painettu

Valokuvat

Vapaakappale

Although all care has been taken to ensure the integrity and quality of this publication and the information herein, no liability is assumed by the project partners and the publisher for any damage to property or persons as a result of the use of this publication and the information contained herein.

Reproduction for non-commercial purpose is authorised provided the source is acknowledge and notice is given to the project coordinator. Publicity available distribution of this publication through other sources than the web sites given below requires the prior permission of the project partners.



This work was funded by the European Union under the grant no. 101112269. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or [name of the granting authority]. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.



Funded by
the European Union

ESIPUHE

Uudelleenkäytettävien 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 uudelleenkäyttökkenaarioiden luokittelusta, eurooppalaisten käytännėsääntöjen 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 Uudelleenkäytettävienteräsosien uudelleenkäytön ympäristöhyödyistä ja tarjotaan tietoa kierrätetystä teräksestä valmistettujen rakenteiden valmistuksen ja pystyttämisen käytännön näkökohdista. Tämän teoksen viimeisessä osassa esitellään useita tapaustutkimuksia, joissa havainnollistetaan Uudelleenkäytettävienteräsrakenteiden 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	11
1.1	Tämän julkaisun laajuus	11
1.2	Termit ja määritelmät	11
2	Suosituksia tulevia rakennuksia varten	15
2.1	Purkamisen ja uudelleenkäytön suunnittelun yleiset periaatteet	15
2.1.2	Keskeiset suunnitteluperiaatteet	16
2.1.3	Rakennusvaiheen strategiat	17
2.1.4	Käytön jälkeinen ja käyttöiän päättymisen suunnittelu	17
2.2	Standardointi	17
2.3	Parhaat käytännöt yksikerroksisten teräsrakennusten analysointiin ja suunnitteluun	20
2.3.1	Portaalikehien tyypilliset yksityiskohdat	20
2.3.2	Jäykistysjärjestelmät	21
2.3.3	Päätykehät	22
2.3.4	Yleinen analyysi	22
2.3.5	Liitosten käyttäytyminen	22
2.3.6	sauvan nurjahdustarkastelut	23
2.3.7	jännitystarkastukset	24
2.3.8	Taipuman tarkastukset	24
2.3.9	Ristikkoratkaisut	24
2.4	Parhaat käytännöt monikerroksisten teräsrakennusten analysointiin ja suunnitteluun	25
2.4.1	Tyypilliset rakennejärjestelmät	25
2.4.2	globaali analyysi	26
2.5	Kestävyys	27
2.6	Dokumentointi, tunnistaminen ja jäljitettävyyys uudelleenkäyttöä varten	28
2.6.1	rakennusmuistio	28
2.6.2	Tietomallinnus	29
2.6.3	Terästuotteiden jäljitettävyyys tulevaa uudelleenkäyttöä varten	30
3	Uusien rakennusten kuormitus ja kuormien yhdistäminen	32
3.1	Kuormien ominaisarvot	32
3.1.1	Kattokuormat	32
3.1.2	Kuormat välitasoissa ja monikerroksisten rakennusten välipohjissa	33
3.1.3	Lumikuormat	34
3.1.4	Tuulikuormat	36
3.1.5	Tuuli- ja lumikuormien luokitusten käyttöä koskevat ohjeet	38
3.1.6	Ominaiskuormien mukauttaminen toistumisajan perusteella	39

3.1.7	Lämpökuormat	41
3.2	kuormien yhdistelmät	42
4	Uudelleenkäyttö suunnittelun ja parempien detaljien kautta	44
4.1	Yksikerroksisten teräsrakennusten rakennesuunnittelu	44
4.2	Yksikerroksisten teräsrakenteiden standardointi	45
4.2.1	Uudelleenkäyttömahdollisuudet portaalirakenteissa	45
4.2.2	Vakioportaalikehä hitsatuilla räystäs- ja harjaliitoksilla	46
4.2.3	Portaalikehä pultatuilla liitoksilla	47
4.2.4	Portaalikehä erillisellä kulmatuella	49
4.3	Pilarin liitos perustuksiin	49
4.4	Uudelleenkäytettävät ristikkoratkaisut	50
4.5	Jäykistetyt laatikkotyypiset rakenteet	52
4.6	välitasot	53
4.7	sekundääriset teräsrakenteet ja vaippa	56
4.7.1	sekundäärinen teräsrakenne	56
4.7.2	Vaihtoehtoiset järjestelmät sekundäärisessä teräsrakenteessa	56
4.7.3	julkisivut	57
4.7.4	Esivalmistettujen kylmämuovattujen teräskasettien käyttö portaalikehillä	59
4.8	Monikerroksisten rakennusten rakennesuunnittelu	62
4.8.1	Monikerroksisten teräsrakennusten standardointi	62
4.8.2	Monikerroksisia teräsrakennuksia koskevat ohjeet	63
5	Päätelmät	73
	Viittaukset	75

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
$G_{k,j,\text{sup}}$	Pysyvän kuorman ylempi ominaisarvo j
$G_{k,j,\text{inf}}$	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
$Q_{k,i}$	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
αP	Materiaaliominaisuuden tärkeystekijä
β	Luotettavuusindeksi
γF	Kuorman osavarmuuskerroin (yleinen)
$\gamma \mu$	Materiaaliominaisuuden osavarmuuskerroin
γM	Kestävyuden osavarmuuskerroin (yleinen)
$\gamma M0$	Poikkileikkauskestävyyden osavarmuuskerroin
$\gamma M1$	Sauvan kestävyuden osavarmuuskerroin
$\gamma M1, \mu o \delta$	Modifioitu osavarmuuskerroin sauvan kestävyydelle
$\gamma M2$	Osavarmuuskerroin poikkileikkausten kestävyydelle murtumisen suhteen
$\gamma P \delta$	Osavarmuuskerroin kestävyysmallissa
$\varepsilon \phi$	Venymä murtuman jälkeen
ν	Poissonin kerroin
ρ	Ilman tiheys
ξ	Epäsuotuisia pysyviä toimia koskeva vähennyskerroin
ψ	Yhdistelykerroin
$\psi 0$	Muuttuvan kuorman yhdistelykerroin
$\psi 0, i$	Muuttuvan kuorman i yhdistelmäkerroin
Φ	Normaalijakauma

Alaindekseiksi

ad	Sovitettu
d	Suunnitteluarvo
Inf	Alaraja
k	Ominaisarvo
mod	Muunnettu
Nom	Nimellinen
sup	Yläaraja

Lyhenteet

CEN	Euroopan standardointikomitea
CEV	Hiiliiekvivalenttiarvo
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

1.1 TÄMÄN JULKAISUN LAAJUUS

Tämä Osa 2 tarjoaa suunnitteluohjeita, joiden tarkoituksena on helpottaa teräsosien purkamista ja uudelleenkäyttöä tulevaisuudessa. Kiertotalouden periaatteiden ja kestävä kehityksen tavoitteiden mukaisesti oppaassa käsitellään uusien rakennusten, kuten yksikerroksisten teollisuuslaitosten ja monikerroksisten asuin- tai toimistorakennusten, suunnittelua keskittyen modulaarisuuteen, irrotettavuuteen ja materiaalien pitkäikäisyyteen.

Tässä esitellään käytännön tapoja rakenteiden suunnitteluun, jotka maksimoivat teräsosien uudelleenkäyttöpotentiaalin edistämällä standardointia, tehokasta rakentamisen yksityiskohtia ja helppokäyttöisten mekaanisten liitosten käyttöä pysyvän hitsauksen sijaan.

Julkaisussa korostetaan suunnittelun varhaista mukaan ottamista purkamisnäkökohtia varten, huolellista materiaalivalintaa ja kattavia dokumentointikäytäntöjä, mukaan lukien rakennustietomallinnuksen (BIM) käyttö pitkän aikavälin jäljitettävyyden takaamiseksi.

Lisäksi se tarjoaa teknisiä suosituksia kuormitusyhdistelmistä, rakenneanalyyseistä ja yksityiskohtaisista parhaista käytännöistä, jotka parantavat rakennusosien rakenteellista eheyttä ja uudelleenkäytettävyyttä.

Näitä näkökohtia käsittelemällä julkaisu pyrkii minimoimaan ympäristövaikutukset, vähentämään jätettä, vähentämään hiilidioksidipäästöjä, edistämään rakennusmateriaalien kiertotaloutta ja edistämään kestävämpää ja resurssitehokkaampaa rakennusala.

1.2 TERMIT JA MÄÄRITELMÄT

Tässä ohjeessa on käytetty seuraavia termejä ja määritelmiä erityisesti yksikerroksisten rakennusten osalta.

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 ennakoitun 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 määritetty 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	Vanhon komponenttien käyttö vähäisillä tai olemattomilla muutoksilla, suurelta osin alkuperäisessä muodossaan; Niitä voidaan käyttää uudelleen alkuperäiseen toimintoon tai käyttää uudelleen uuteen toimintoon.
Sekundäärinen rakenne	Sekundäärinen 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 kestävyys- 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.
Vaippa/kuorirakenne	Julkisivu- ja vesikatto, jotka muodostavat rakennuksen vaipan ja tarjoavat vaaditun lämpö- ja äänieristävyyden, vesi- ja ilmatiiviyyden, palosuojauksen, esteettisen ulkonäön ja kantavuuden.
Komponentti	Osa teräsrakennetta, esim. ristikko, sandwich-paneeli. Voi olla useiden pienempien komponenttien kokoonpano

2 Suosituksia tulevia rakennuksia varten

Osa 2 käsittelee tapoja, joilla uusia rakenteita voidaan suunnitella teräsrakenteiden uudelleenkäytön helpottamiseksi. Painopiste on teräsosissa ja sekundäärirakenteissa, joita käytetään yksi- ja monikerroksisissa teräsrakennuksissa, kuten teollisuusrakennuksissa, suurissa vähittäiskauppayksiköissä, varastoissa, asuin- ja toimistorakennuksissa, ja siinä, miten ne voidaan suunnitella ensimmäisen käyttösyklin aikana niin, että ne on helppo irrottaa, mikä mahdollistaa niiden uudelleenkäytön tulevissa rakennuksissa. Teräs on kestävä, kierrätettävää ja monipuolista, ja se tarjoaa merkittäviä mahdollisuuksia uudelleenkäyttöön, jos se integroidaan oikein rakennuksen suunnitteluun. Tämä kattaa myös rakenteellisten ja muiden kuin rakenteellisten osien väliset yhteydet, kuten 4 jaksossa esitetään.

2.1 PURKAMISEN JA UDELLEENKÄYTÖN SUUNNITTELUN YLEISET PERIAATTEET

Teräsrakenteiden suunnittelu tulevaa purkua ja uudelleenkäyttöä varten on kiertotalouden periaatteiden mukaista, vähentää jätettä ja maksimoi resurssitehokkuuden. Näiden suositusten sisällyttäminen suunnitteluprosessin varhaisessa vaiheessa mahdollistaa mukautuvien, kestävien ja kestävien rakennusten luomisen. Asettamalla etusijalle modulaarisuuden, dokumentoinnin, materiaalivalinnan ja esteettömät liitokset rakennusteollisuus voi vähentää merkittävästi ympäristövaikutuksiaan ja tasoittaa tietä innovatiivisemmille ja kestävämmille suunnittelukäytännöille.

Teräksen määrä, joka voidaan ottaa talteen ja käyttää uudelleen rakennuksista niiden käyttöään päätyttyä, riippuu siitä, miten ne on alun perin suunniteltu ja rakennettu. Tässä osiossa käsitellään sitä, miten suunnitteluvaiheessa tehdyt päätökset voivat mahdollistaa purkamisen ja siten lisätä uudelleenkäytettävien materiaalien määrää myöhempää käyttösykliä varten.

Purkamisen ja mahdollisen uudelleenkäytön suunnittelussa on noudatettava seuraavia periaatteita [1]:

- Rakennukset tulee rakentaa kerroksittain, jotka ovat helposti vaihdettavissa rakennuksen koko elinkaaren ajan. Lyhyimmän käyttöään omaavien komponenttien tulisi olla helpoimmin saatavilla olevissa kerroksissa,
- Rakennuksen monimutkaisuutta tulisi vähentää mahdollisimman paljon. Suunnittelu yksinkertaisilla rakenteellisilla ristikoilla ja selkeillä tukilinjoilla johtaa normaalikokoisten komponenttien käyttöön, jotka maksimoivat niiden mahdollisen uudelleenkäytön mahdollisimman pienellä vaihtelulla. Eri materiaalien määrä ja niiden detaljit olisi myös pidettävä mahdollisimman vähäisenä uudelleenkäytön helpottamiseksi,
- Työturvallisuus ja koneille varattu tila tulee ottaa huomioon rakentamisen ja purkamisen aikana. Suunnittelussa tulisi ottaa huomioon myös tuleva purkukulttuuri,
- Paikan päällä asennetut esivalmistetut komponentit tai moduulit on helpompaa purkaa uudelleenkäyttöä varten muualla tai jopa samassa kohteessa,

- Liitosten tulee olla yksinkertaisia ja helposti saavutettavissa. Tämä koskee myös perustusten ja muiden komponenttien liitoksia. Hitsausta tulee välttää, paitsi jos hitsatut osat voidaan käyttää uudelleen kokonaisuudessaan
- Kiinnikkeet, liimat ja tiivisteet tulee valita siten, että ne eivät vahingoita toissijaisia osia, kuten ulkoverhousa ja ikkunoita, niiden poistamisen aikana mahdollisesti uudelleenkäytettävänä komponentteina,
- Suunnittelussa tulisi maksimoida uudelleenkäytettävät materiaalit ja välttää komposiittimateriaaleja, kipsiä, teräsbetonia jne., joita on vaikea purkaa ja kierrättää. Vaarallisia aineita tulee välttää. Myös pinnoitteiden ja teräsrakenteiden palosuojauksen vaikutus tulisi ottaa huomioon uudelleenkäytössä,
- Rakennustuoteluettelo olisi myös laadittava rakennustietomallin (BIM) muodossa, joka sisältää tiedot alkuperäisen rakennuksen suunnittelusta, mahdollisten kunnostustöiden materiaalmäärityt ja rakennustiedot sekä purkamisen kannalta olennaiset tiedot.

Keskittymällä modulaarisuuteen, materiaalien dokumentointiin ja älykkäisiin liitostekniikoihin arkkitehdit ja insinöörit voivat luoda rakenteita, jotka eivät palvele vain välitöntä tarkoitustaan, vaan tarjoavat myös pitkän aikavälin ympäristö- ja taloudellisia hyötyjä.

2.1.2 KESKEISET SUUNNITTELUPERIAATTEET

Modulaarinen rakenne erottuu yhtenä tehokkaimmista strategioista varmistaakseen, että teräsrakenteet voidaan purkaa ja käyttää uudelleen mahdollisimman vähällä purkujätteellä. Käyttämällä standardoituja komponentteja ja esivalmistettuja moduuleja rakennukset voidaan koota tavalla, joka edistää tulevaa uudelleenkäyttöä. Pulttiliitokset ovat parempia kuin hitsatut liitokset, koska ne yksinkertaistavat purkamisprosessia. Esivalmistetut moduulit voidaan helposti irrottaa, kuljettaa ja integroida uudelleen uusiin projekteihin, mikä pidentää teräskomponenttien elinkaarta alkuperäisen rakenteen käyttöänsä jälkeen.

Dokumentointi ja merkinnät ovat välttämättömiä tulevien purkutoimien helpottamiseksi. Yksityiskohtainen kirjanpito kaikista rakenneosista, mukaan lukien teräslaadut, mitat ja liitosten tiedot, helpottaa tunnistamista ja uudelleenkäyttöä. Digitaaliset työkalut, kuten Building Information Modelling (BIM), tarjoavat vankkoja ratkaisuja materiaalien seurantaan ja hallintaan rakennuksen koko elinkaaren ajan. Lisäksi teräsosien fyysinen merkitseminen kestäväillä tunnisteilla tarjoaa nopean viitteen purkamisen aikana, mikä varmistaa, että materiaalit tunnistetaan oikein ja käytetään uudelleen tehokkaimmalla tavalla.

Materiaalivalinnalla on ratkaiseva rooli tulevan uudelleenkäytön suunnittelussa. Rakenneteräs olisi mahdollisuuksien mukaan hankittava teräksentuottajilta ja -toimittajilta, jotka ovat määritelleet strategian kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi ja ovat julkisesti sitoutuneet kansallisten ja/tai kansainvälisten hiilidioksidipäästöjen vähentämistavoitteiden mukaisesti. Tämä sisältää muun muassa seuraavat:

- Pariisin sopimuksen tavoitteiden mukainen päästövähennyspolku
- validoitu tieteeseen perustuva tavoite, esimerkiksi Science Based Target Initiativen (SBTi) hyväksymä tavoite;
- ResponsibleSteel Sertifioitu teräs tai vastaavan kansainvälisen standardin mukainen teräs.

Mahdollisuuksien mukaan on suositeltavaa minimoida kierrätystä haittaavien komposiittimateriaalien tai pinnoitteiden käyttö, koska ne voivat vaikeuttaa talteenottoa prosessissa. Standardoidut teräsprofiilit olisi asetettava etusijalle, jotta käyttötarkoituksen muuttamista voidaan yksinkertaistaa ja varmistaa, että komponentit sopivat täydellisesti uusiin projekteihin ilman laajoja muutoksia.

Liitos- ja kiinnitystekniikat vaikuttavat merkittävästi purkamisen helppouteen. Mekaaniset kiinnikkeet, kuten pultit, ovat parempia kuin pysyvät menetelmät, kuten hitsaus tai liimat. Liitosten suunnittelu helposti saavutettaviksi ja helposti irrotettaviksi mahdollistaa nopean purkamisen. Tämä ei ainoastaan nopeuta purkuprosessia, vaan varmistaa myös, että teräskomponentteja voidaan käyttää uudelleen mahdollisimman vähäisin vaurioin.

Rakenteellinen yksinkertaisuus on elintärkeää helposti purettavien teräsrakennusten luomisessa. Rakenteiden sijoittelun yksinkertaistaminen vähentää liitosten monimutkaisuutta ja minimoi päällekkäiset komponentit, mikä tekee purkamisesta yksinkertaisempaa. Suunnittelun toisto voi mahdollistaa rakenteen osien purkamisen vaarantamatta yleistä vakautta, mikä mahdollistaa valikoivan uudelleenkäytön.

2.1.3 RAKENNUSVAIHEEN STRATEGIAT

Tulevan purkamisen suunnittelu vaatii huolellista suunnittelua ja asianmukaista koulutusta ennen rakentamisen aloittamista. Rakentamisen osapuolia tulisi kouluttaa parhaisiin käytäntöihin rakenteiden kokoamiseen tulevaa purkamista ajatellen. Laadunvalvonta asennuksen aikana varmistaa, että liitokset on asennettu oikein, mikä helpottaa purkamista.

2.1.4 KÄYTÖN JÄLKEINEN JA KÄYTTÖIÄN PÄÄTTYMISEN SUUNNITTELU

Teräsrakenteiden käyttöiän päättymisen suunnittelu tulisi aloittaa jo alkuvaiheessa soveltamalla edellä esitettyjä suunnittelumalleja ja dokumentoimalla ne. Purkamisnäkökohtien sisällyttäminen suunnitteluvaiheeseen varmistaa, että rakennukset tehdään pitkäaikaista uudelleenkäyttöä ajatellen, purkujätteen minimointia ja kiertotalouden edistämistä. Rakennuksen käyttöiän lopussa purkusuunnitelmat tulisi laatia yhteistyössä purkuyritysten kanssa prosessin virtaviivaistamiseksi. Teräskomponenttien mahdollisten toissijaisten käyttötarkoitusten tunnistaminen auttaa pidentämään niiden elinkaarta ja vähentämään uusien materiaalien kysyntää.

2.2 STANDARDOINTI

Useimmat teräskomponentit suunnitellaan ja valmistetaan tietyn projektin erityisvaatimukseen asiakkaan tarpeiden mukaan. *Vastine rahalle* on asiakkaan vaatimus, ja rakennuksen koko elinkaaren kustannukset on pidettävä mahdollisimman pieninä tietyn laadun mukaisesti. Tällä hetkellä näihin koko elinkaaren aikaisiin kustannuksiin ei sisälly tuotteisiin niiden koko elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia eikä niiden elinkaaren lopussa tapahtuvan loppusijoittamisen tai kierrätyksen vaikutuksia eikä niihin liittyviä CO₂-päästöjä.

Jos tarvitaan kokonaisvaltaista lähestymistapaa kustannuksiin ja ympäristövaikutuksiin, materiaalien uudelleenkäytöstä tulee houkutteleva ratkaisu, koska se voi johtaa alhaisempiin kustannuksiin verrattuna uusien materiaalien käyttöön, mutta siitä aiheutuu lisäkustannuksia uudelleenkäytettävien materiaalien purkamisesta ja myöhemmästä käsittelystä ja kunnostamisesta.

Standardointi on tapa maksimoida rakenneosien uudelleenkäyttömahdollisuudet, koska se voi auttaa valintaprosessissa ja uudelleenkäytettävien osien saatavuudessa.

Standardointi voidaan määritellä prosessien, tuotteiden tai komponenttien laajaksi käytöksi, jossa halutaan saavuttaa säännöllisyyttä ja toistoa. Vakiorakennukset valmistetaan säännöllisiin mittoihin ja useista identtisistä komponenteista, jotka saavuttavat mittakaavaetuja valmistuksessa.

Yksikerroksisissa teräsrakennuksissa mittojen yhteensovittamisesta on saatavissa kustannushyötyjä, ja mittamuotoon voidaan tehdä seuraavat ehdotukset:

1. Osien pituus on yleensä rajoitettu maantiekuljetuksissa. Tavanomaiset tukipituudet ovat 10, 12, 14, 15, 16, 18 ja 20 m. Alle 12 metrin pituudet ovat yleensä kuljetettavissa normaalilla raskaalla ajoneuvolla ja jopa 18 metrin pituudet ovat mahdollisia riippuen paikallisista teistä työmaalle. Konttikuljetuksissa vaaditaan yleensä alle 12 metrin kokonaispituus,
2. Katon kaltevuus riippuu paikallisesta lumesta ja sateesta sekä alueellisista käytännöistä rakentamisessa. Kaltevuus on yleensä vähintään 1:10 (6°) katon portaali- tai ristikkokehissä. Kaltevuutta 1:20 (3°) käytetään usein ristikkorakenteilla, koska ne ovat jäykempiä ja muodonmuutokset ovat pienempiä kuin portaalikehillä,
3. Kehäväli on tyypillisesti 5-8 m jännevälisiä riippuen. Yleisiksi mittoiksi voidaan ottaa 7,5 m vähälumisilla alueilla ja 5 tai 6 m runsaslumisilla alueilla. Uudelleenkäyttökkenaarioissa on mahdollista käyttää erilaisia kehävälejä alkuperäiseen rakennukseen verrattuna,
4. Yksikerroksisten rakennusten primäärirakenteet tyypilliset jännevälit ja kehärakenteen korkeussuhteet on esitetty Taulukko 2.1 [2].

Taulukko 2.1 Tyypilliset jännevälit ja jänneväli-kattosyvyysuhteet yksikerroksisille rakennuksille

Kehän tyypit	Tyypillinen jännevälialue	Kattopalkin-/ristikon korkeus
Yksinkertainen rakenne		
Kuumavalssatut profiilit	jopa 20 m	jänneväli/25 - jänneväli/35 jäsenten koon ja painon mukaan
Hitsatut palkit	jopa 30 m	SPAN/20 - SPAN/25
Palkit, joissa on uumareiät (pyöreät tai kuusikulmaiset)	jopa 45 m	jänneväli/18 - jänneväli/30 aukkojen koosta riippuen
Ristikko (harjallinen)	jopa 20 m	jänneväli/5 - jänneväli/10 ristikon yläosassa olevan korkeuden perusteella
Ristikko (suora)	jopa 100 m	jänneväli/15–20
Jatkuva rakenne		
Portaalikehä	15 m - 50 m	jänneväli/50 - jänneväli/65
Pulpettikatto	jopa 25 m	kattopalkeille (jopa jänneväli/85, jos lumikuorma ei hallitse suunnittelua)
Tuettu portaalikehä	jopa 50 m	
Esivalmistetut kapenevat profiilit	jopa 70 m	Välillä jänneväli/25 - jänneväli/65
Ristikko (suora)	jopa 100 m	jänneväli/15–20

Yksikerroksisten teräsrakennusten, joiden räystäskorkeus on 6–12 m, alustavassa suunnittelussa on vakiokäytäntö käyttää rungon jännevälin ja pilarin syvyysuhteita välillä

40–50. Tämä ohje tarjoaa lähestymistavan, joka varmistaa sekä rakenteellisen tehokkuuden että taloudellisen materiaalien käytön.

Monikerroksissa rakennuksissa, kantavuus ja kuorman jakautuminen varmistetaan palkeista ja pilareista koostuvalla primäärirungolla. Kuormituspisteiden määrän optimointi tulee kysymykseen suunnitteluvaiheessa ja suunnittelussa on otettava huomioon rakennuksen käyttö [3]. Mitä tulee tilasuunnitteluun, pilareita pidetään esteinä, joita on rajoitettava mahdollisimman paljon. Perinteisissä runkorakenteissa käytetään asuinrakennuksissa jännevälejä 4,5–6 m. Suuret jänneväli, 12–18 metriä toimistoissa ja 15–16 metriä pysäköintitaloissa, voivat vapauttaa lisätilaa.

Tilan suunnittelu määrittelee pilarijaon, mihin vaikuttavat:

- Suunnitteluruudukko (perustuu yleensä 300 mm:n yksiköihin, mutta tyypillisemmin 0,6, 1,2 tai 1,5 m:n kerrannaisiin);
- Pilareiden etäisyys seinillä julkisivumateriaalista riippuen (tyypillisesti 5,4–7,5 m);
- Sisätilojen käyttö (esim. toimistoissa tai avoimessa tilassa);
- Talotekniikan vaatimukset.

Seinälinjalla pilarivälit määräytyvät yleensä julkisivujärjestelmän tukemisen tarpeen mukaan (esimerkiksi tiilimuurauksessa yleensä enintään 6 metrin pilariväli). Tämä vaikuttaa pilarijakoon, seinälinjalla käytettä lisäpilareita.

Toimistoissa käytetään tyypillisesti 12–15 metrin rakennuksen leveyttä, joka voidaan saavuttaa kahdella 6–7,5 metrin jännevälillä. Jänneväleissä voidaan käyttää myös 400 mm tai korkeampia ontelolaattoja, jotka kattavat rakennuksen koko leveyden. Luonnonvalaistuksella on myös merkitystä ruudukon valinnassa. Nykyaikaisissa rakennuksissa pitkän jännevälin ratkaisu lisää kuitenkin huomattavasti muuntojoustavuutta.

Kerroskorkeus perustuu lattiasta kattoon ulottuvaan korkeuteen 2,5–3,0 m tavanomaisissa toimistoissa lisätynä välipohjien syvyydellä. Eri rakennevaihtoehtojen jännevälialueet on esitetty Taulukko 2.2.

Taulukko 2.2 Erialaisten rakennevaihtoehtojen jänneväli [3]

	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					■	■

Pohjan ruudukosta annetaan seuraavat tiedot kansallisten käytäntöjen perusteella:

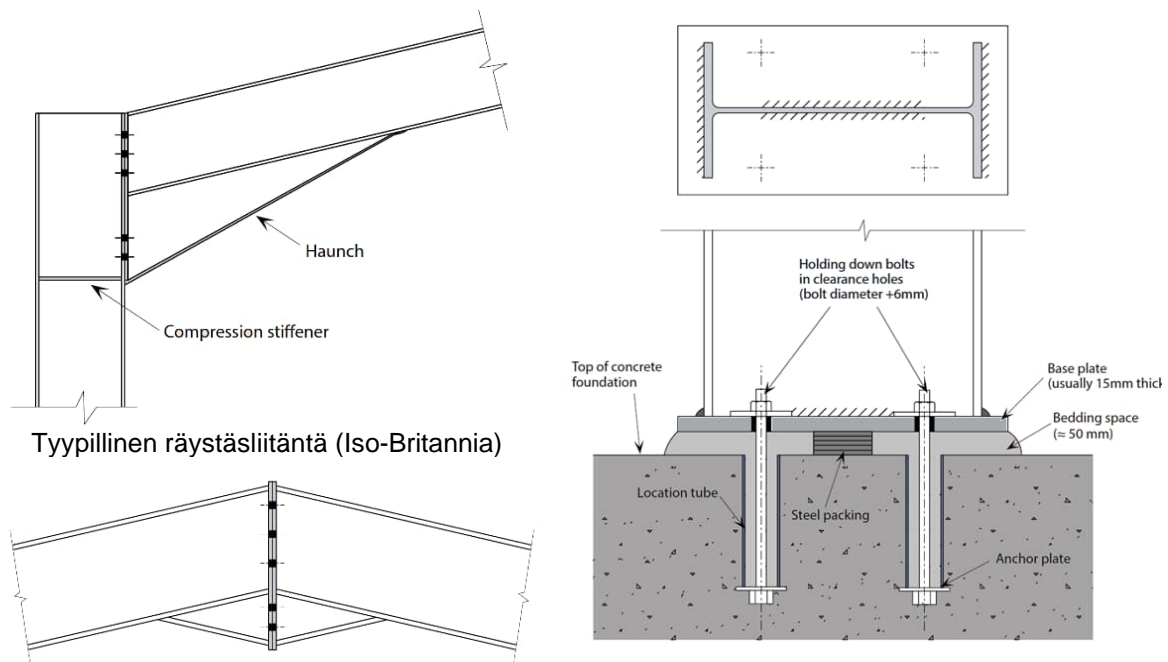
- Saksa (DIN: n mukaan): suunnitteluruudukko 100 mm, tyypillisesti 1,2 metrin kerrannaiset,
- Alankomaat: suunnitteluruudukko 100 mm, 1,8 metrin kertoimet kouluille, liiketiloille, hotelleille ja toimistorakennuksille,
- Iso-Britannia: suunnitteluruudukko 300 mm; tyypillisesti 0,6, 1,2 tai 1,5 m:n kerrannaiset. Koulut ja lääketieteelliset rakennukset on suunniteltu 1,2 metrin kerrannaisille ja toimistot 1,5 metrin lattiaruudukolle,
- Euroopassa hyväksytään yleensä 1,25 ja 1,35 m:n kerrannaiset (1,35 m voidaan suosia mittojen standardoinnissa),
- Matalat toimistorakennukset (2–4-kerroksiset): 6–9 metrin jakoa käytetään usein ontelolaattojen kanssa,
- Ison-Britannian korkeissa toimistorakennuksissa suositetaan suorakaiteen muotoisia lattiaristikoita, joissa pidempi jänneväli ulottuu 13,5–18 metriä rakennuksen poikki 1,5 metrin välein. Pilarijako 16,5 m × 7,5 m:n on yhteensopiva maanalaisen pysäköintialueen kanssa,
- Näissä pitkän jännevälin palkeissa on yleensä raina-aukot talotekniikan integrointia varten, kuten valssatuista osista valmistetut solupalkit, joissa on useita pyöreitä aukkoja.

Korkeissa rakennuksissa 1,35 metrin suunnitteluruudukko johtaa 16,2 m x 8,1 m pilarijakoon.

2.3 PARHAAT KÄYTÄNNÖT YKSIKERROKSISTEN TERÄSRAKENNUSTEN ANALYSOINTIIN JA SUUNNITTELUUN

2.3.1 PORTAALIKEHIEN TYYPILLISET YKSITYISKOHDAT

Tyypilliset yksityiskohdat portaali-kehillä, jossa on nimellisesti ideaalisesti nivelellinen tuenta, on esitetty Kuva. 2.1.



Tyypillinen harjaliitos (Iso-Britannia)

Tyypillinen nimellisesti niveellinen pohjalevyliitos (Iso-Britannia)

Kuva. 2.1 Tyypilliset yksityiskohdat yksilaivaiselle portaali-kehälle, jossa on nimellisesti niveellinen tuenta [4]

2.3.2 JÄYKISTYSJÄRJESTELMÄT

Portaalirunkorakennuksessa on kahdenlaisia ensisijaisia jäykistysjärjestelmiä: (i) pystysuora jäykistäminen ja (ii) katon jäykistys. Rungon sivuseinien pystysuoran jäykistykseen ensisijaiset tehtävät ovat:

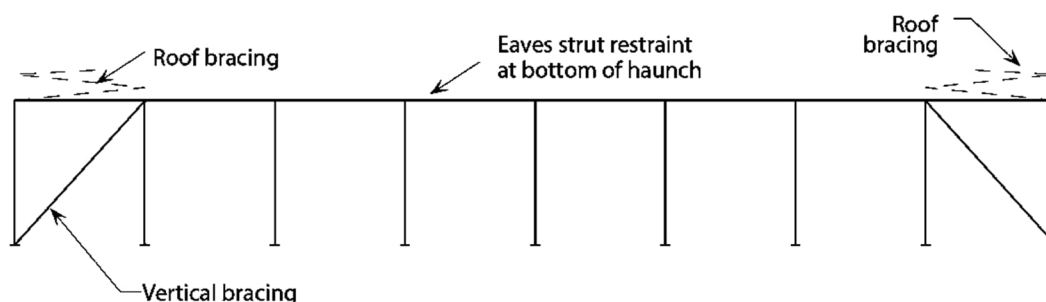
- Vaakasuuntaisten voimien siirtäminen perustuksiin,
- Stabiliteetti rungon pystytyksen aikana.

Jäykistävät rakenteet voivat sijaita rakennuksen toisessa tai molemmissa päissä (katso Kuva. 2.2), rakennuksen pituudella tai kussakin mahdollisten liitosten välisessä osassa (jos sellaisia on). Tähän tarkoitukseen voidaan käyttää jäykistettyjä tai jäykkänurkkaisia kehiä. Niiden sijaintiin voi vaikuttaa myös rakennuksen pohjapiirros. Räystäätuet varmistavat, että kaikki portaali-kehät on tuettu tasosta ulkopuoliseen suuntaan pystysuoralla tukijärjestelmällä.

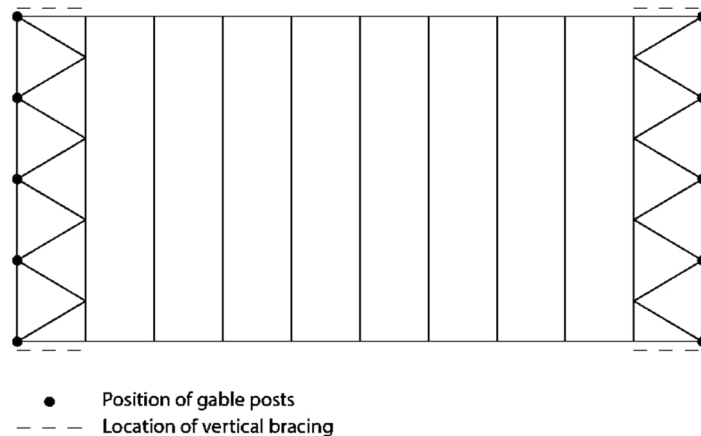
Kattotukijärjestelmä sijaitsee katon tasossa, tyypillisesti rakennuksen molemmissa päissä kahden ensimmäisen vierekkäisen kehän välissä (Kuva. 2.3). Kattotuen ensisijaiset toiminnot ovat:

- Tuulen voimien siirtäminen päätypylväistä seinien tukijärjestelmään,
- Tuulen kitkavoimien siirtäminen katolta pystysuoraan tukeen,
- Jäykän ankkuroinnin tarjoaminen kattokiinnikkeille kiinnittämiseen,
- Stabiliteetti rungon pystytyksen aikana,
- Estää sisäpilarien yläpäiden liike tukeutumalla takaisin kehäseiniin.

Kattotukijärjestelmä tulee järjestää siten, että se tukee päätypylväiden yläosaa.



Kuva. 2.2 Tyypillinen pystysuora jäykistysjärjestely [5]



Kuva. 2.3 Tyypillinen kattotukijärjestely

2.3.3 PÄÄTYKEHÄT

Päätykehät suunnitellaan usein käyttämällä välitukia, jolloin ne ovat siksi kevyempiä kuin sisäkehät. Toinen vaihtoehto on käyttää jäykistettyjä päätykehiä, mikä voi aiheuttaa haasteita verhouksen suorituskyvylle seuraavien kehysten välisten erillisten siirtymien vuoksi. On suositeltavaa, että päätykehät ovat samankokoisia kuin sisäkehät, jotta niitä voidaan käyttää uudelleen ja mahdollistaa myös rakennuksen tulevat laajennukset. Tämä käytäntö parantaa myös verhoujärjestelmän suorituskykyä, koska kahden vierekkäisen rungon välillä on otaksuttavasti pienempi siirtymäero.

2.3.4 YLEINEN ANALYYSI

Euroopassa useimmat portaalikehykset suunnitellaan elastisella analyysillä, kun taas Isossa-Britanniassa ne suunnitellaan käyttämällä plastista analyysiä murtorajatilassa, mutta taipumatarkastelu tehdään erikseen kimmoisasti. Rakenteiden uudelleenkäytön helpottamiseksi on suositeltavaa käyttää kimmoisaa mallia ensimmäisellä ja myöhemmällä käyttökerralla.

Plastisesti mitoitettujen rakenteiden osien koot ovat pienempiä kuin kimmoisesti mitoitettujen rakenteiden, koska taivutusmomentit jakautuvat uudelleen rungossa. Lisäkustannukset ovat kuitenkin minimaaliset, koska materiaalikustannukset muodostavat alle 50% asennuksen kokonaiskustannuksista.

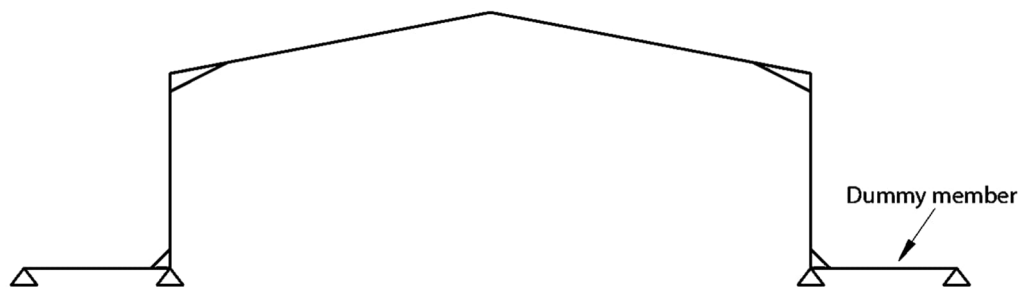
2.3.5 LIITOSTEN KÄYTTÄYTYMINEN

Liitokset/liitokset voidaan luokitella nimellisesti nivelellisiksi, puolijäykiksi tai jäykiksi standardin EN 1993-1-8 mukaisesti [6]. Alustavaa suunnittelua varten voidaan olettaa, että nimellisesti nivelellinen liitos, joka noudattaa tyypillistä yksityiskohtaa, joka on esitetty Kuva. 2.1, voidaan olettaa antavan 10 prosenttia runkopilarien taivutusjäykkyydestä yleisessä stabiilisuusanalyysissä ja 20 prosentissa käyttörajatilatarkastuksissa. Nimellisesti nivelellisille liitoksille voidaan olettaa, että pohjan jäykkyys on jopa 20 % pilarin jäykkyydestä [7].

Lopullisessa suunnittelussa, jos pylväs on liitetty jäykästi sopivaan perustukseen, pohjaliitoksen jäykkyyden tulisi olla yhtä suuri kuin pylvään jäykkyys kaikissa murtorajatilan

laskelmissa. SLS-tarkastuksissa alustaa voidaan pitää jäykkänä [7]. Puolijäykissä liitoksissa on suositeltavaa, että rotaatiojousen jäykkyys arvioidaan standardin EN 1993-1-8 tai asianmukaisen ohjelmiston mukaisesti.

Yleiset ohjelmistopaketit mahdollistavat rotaatiojousen jäykkyyden suoran sisällyttämisen malliin, mikä helpottaa yllä olevien suositusten toteuttamista. Erityisesti rungon liittyminen perustuksiin, jos analyysiohjelmisto ei tue rotaatiojousia, voidaan mallintaa liitosjäykkyyttä vastaavilla lisäsauvoilla Kuva. 2.4.

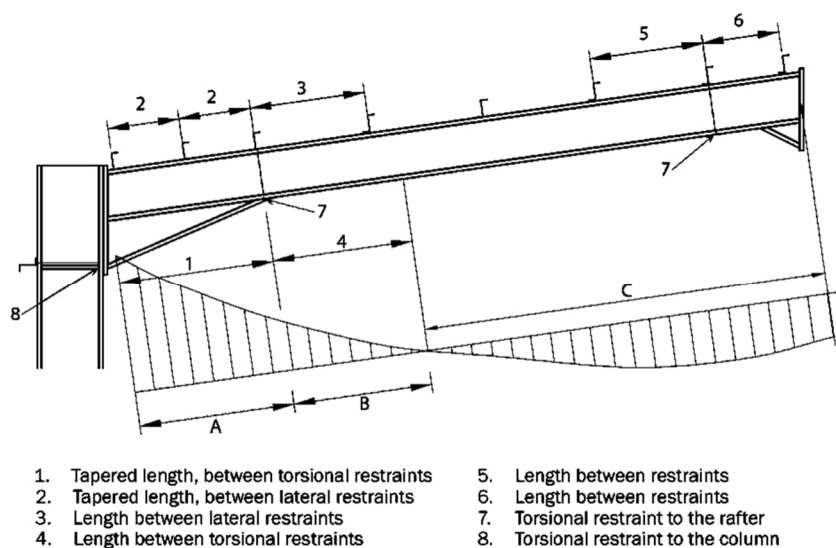


Kuva. 2.4 Perustusliitoksen mallintaminen lisäsauvan avulla [4]

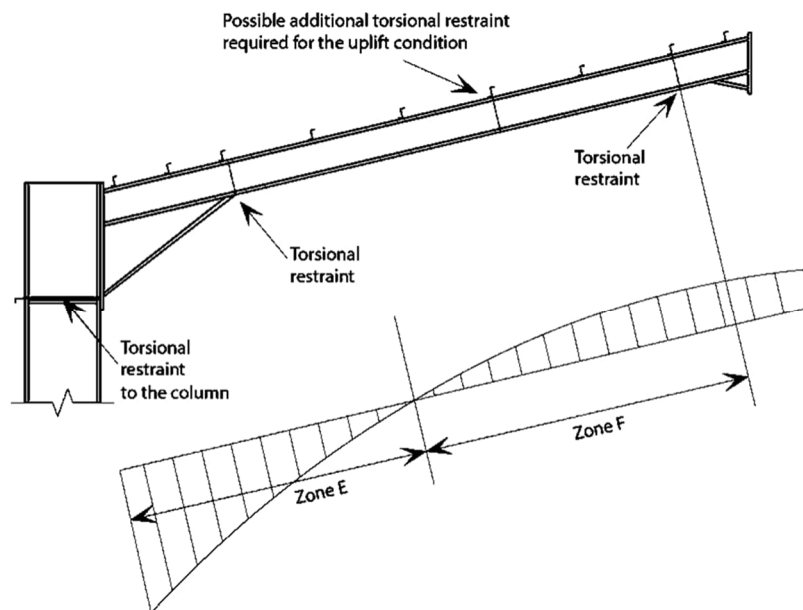
2.3.6 SAUVAN NURJAHDUSTARKASTELUT

Osien nurjahduskestävyyden toteamisessa tulee noudattaa standardin EN 1993-1-1 kohdan 8.3 mukaisia menettelyjä.

Sekundäärirakenteilla on tärkeä rooli portaalikehien suunnittelussa, koska ne kohottavat pääkehien taivutus- ja vääntönurjahdus- sekä kiepahduskestävyyttä. Tyypillinen portaalikehien suunnittelu perustuu Kuva. 2.5. Tuulen nostetta varten kattotuolin sisäiseen puristettuun laippaan voi tarvita ylimääräisiä vääntötukia (ks. Kuva. 2.6) tai julkisivun pilareille, jotka ovat alttiina tuulen imulle.



Kuva. 2.5 Tyypilliset tuentajärjestelyt portaalikehässä: painovoimakuorma [4]



Kuva. 2.6 Tyypilliset tuentajärjestelyt portaalikehässä: noste [4]

2.3.7 JÄNNITYSTARKASTUKSET

Käyttötilanteen jännityksiä ei tarvitse tarkistaa standardin EN 1993-1-1 mukaisesti [8]. Koska taipumalaskelmat perustuvat elastiseen analyysiin, plastisuutta ei kuitenkaan pitäisi esiintyä käyttökelpoisuusrajatiloissa (SLS). Jos rakenne on suunniteltu globaalin plastisen analyysin mukaisesti, on suositeltavaa, että EN 1090 -standardin mukaiset tyypilliset käyttökelpoisuuskuormitusyhdistelmät tarkistetaan [9].

2.3.8 TAIPUMAN TARKASTUKSET

Muodonmuutosten tarkistuskriteerit voidaan vahvistaa hankekohtaisesti tai paikalliseen käytäntöön perustuen. Niteen 1 kohdan 6.5.1 suosituksia voidaan noudattaa.

2.3.9 RISTIKKORATKAISUT

Ristikotyypisiä rakenteita käyttämällä voidaan saavuttaa suhteellisen korkea jäykkyys ja kantavuus ja samalla minimoida materiaalien käyttö (säästöt yleensä kasvavat jännevälin kasvaessa). Erityisesti Pohjoismaissa käytetään yleensä ristikkoratkaisuilla varustettuja kattoja, koska lumesta aiheutuu raskaita kattokuormia.

Pitkien jännevälien luomisen lisäksi ristikkorakenteet ovat houkuttelevia ja mahdollistavat yksinkertaisen palveluintegraation. Ristikoissa käytetään usein rakenneputkia pilareissa ja kattopalkeissa, mutta myös avoprofiileja voidaan käyttää. Ristikkorakenteessa rakenneputkien korkea nurjahduskestävyys mahdollistaa pitkien jännevälien ja suuremman diagonaalivälin käytön. Putkimaisen profiilin erinomaisen vääntöjäykkyyden vuoksi niistä valmistetuilla ristikkorakenteilla on hyvä kestävyys sivuttaista vääntönurjahdusta vastaan. Rakenneputkesta valmistettujen osien taivutusnurjahdus ohjaa tyypillisesti niiden suunnittelua. Vakioliitososien valmistus on kustannustehokasta, kun taas pyöristetyt kulmat ja helposti saavutettavat liitokset helpottavat esikäsiittelyä.

Pitkän jännevälin vaipparakenteiden tapauksessa (kuten syvät sandwich-paneelit) ristikon yläpaarteen voidaan olettaa olevan tuettu. Tuulen aiheuttamia kattokuormia varten alapaarre on tuettava pitkittäisellä kattotuella. Jatkuviissa kattoristikoissa tuet voivat olla tarpeen myös puristetun alajänneen pitämiseksi pylväiden lähellä.

Pohjoismaissa hitsatut putkiristikot ovat tyypillisin kattokannattajatyyppejä. Pitkissä jänneväleissä palkit valmistetaan ja kuljetetaan yleensä kahdessa osassa, joissa on pulttiliitokset ylä- ja alapaarteissa.

2.4 PARHAAT KÄYTÄNNÖT MONIKERROKSISTEN TERÄSRAKENNUSTEN ANALYSOINTIIN JA SUUNNITTELUUN

2.4.1 TYYPILLISET RAKENNEJÄRJESTELMÄT

Rakenejärjestelmältä vaadittavaa stabiiliuteen vaikuttaa pääasiassa rakennuksen korkeus [10]. Jopa 8-kerroksisissa rakennuksissa teräsrakenne voidaan suunnitella riittävän stabiiliksi, mutta korkeammissa rakennuksissa betoni- tai jäykistetyt teräsytimet ovat tehokkaampia. Seuraavia rakenejärjestelmiä voidaan harkita vakauden kannalta.

Enintään 4-kerroksisissa rakennuksissa voidaan käyttää jäykkiä kehiä, joissa useat palkkien ja pilarien väliset liitokset tuottavat rakenteelle riittävän taivutuskestävyyden ja jäykkyyden vaakasuuntaisia kuormia vastaan. Tämä on yleensä mahdollista vain, jos palkit ovat suhteellisen korkeita (400 mm - 500 mm) ja kun pilarin kokoa on kasvatettu riittävän taivutusmomenttikkestävyyden varmistamiseksi. Täyskorkuiset päätylevyliitännät tarjoavat yleensä tarvittavan jäykkyyden.

Jopa 12-kerroksisissa rakennuksissa jäykistetyt teräshevät ovat yleensä X-, K- tai V-jäykisteitä seinissä; yleensä julkisivun ontelossa tai portaiden tai muiden huoltoalueiden ympärillä. Poikittaistuki on suunniteltu vain vetojännitykselle (toinen elementti on tarpeeton). Poikittaisjäykistykset ovat usein yksinkertaista litteää terästä, mutta myös kulma- ja kanavaprofiileja voidaan käyttää.

Kun jäykistäminen on suunniteltu toimimaan myös puristukselle, putkiprofiilit ovat suosituimpia, vaikka myös kulma- ja kanavaprofiileja voidaan käyttää.

Teräsjäykistetyillä kehillä on kaksi keskeistä etua:

- Yksi rakennustiimi vastaa asennusaikaisen stabiliteetin varmistamisesta,
- Heti kun terästuki on kytketty (pultattu), rakenne on stabiili.

Betonisydämet ovat käytännöllinen järjestelmä jopa 40-kerroksisten rakennusten vakauttamiseen. Betoniydin rakennetaan yleensä ennen teräsrunkoa. Tässä rakennusmuodossa palkit sijoitetaan usein suoraan rakennuksen kehän pilareiden ja ytimen väliin. Erityisiä rakenteellisia suunnittelunäkökohtia tarvitaan:

- Palkkiliitännät betoniyttimeen,
- Raskaampien primääripalkkien suunnittelu betonisydämen kulmassa,
- Paloturvallisuus ja pitkän jännevälin rakenteen kestävyys.

Erityistä huomiota on kiinnitettävä teräspalkkien ja betonisydämien välisiin liitoksiin, jotka mahdollistavat säädön ennakkoiden, että ydin voi olla väärässä paikassa. Itse liitos ei välttämättä valmistu ennen kuin *betoni* on kovettunut paikan päällä tai elementit on hitsattu, joten rakennusaikaiseen stabiliteettiin on tärkeää kiinnittää huomiota.

Monikerroksisten teräsrunkojen pilarit ovat yleensä H-profiileita, jotka kantavat pääasiassa aksiaalista kuormitusta. Kun rakenteen vakauden takaavat ytimet tai huomaamaton pystysuora jäykistys, palkit suunnitellaan yleensä yksinkertaisesti tuetuiksi. Yleisesti hyväksytty suunnittelumalli on, että nimellisesti nivelelliset liitokset tuottavat pilarissa nimellismomenteja, jotka lasketaan olettamalla, että palkin tukireaktio on 100 mm pylvään pinnasta.

Rakentamisen helpottamiseksi pilarit valmistetaan yleensä kaksikerroksisina tai joskus kolmikerroksisina osina (eli noin 8–12 m pitkiä). Pilarin jatkosliitokset liitetään ovat tyypillisesti 300–600 mm lattiatason yläpuolella.

Välipohjatyyppejä on laaja valikoima [3]. Vaikka teräsratkaisut soveltuvat lyhyille jänneväleille (tyypillisesti 6–9 m), teräksellä on tärkeä etu muihin materiaaleihin verrattuna pitkillä jänneväleillä (12–18 m). Tämä lisää pilareista vapaata tilaa, mikä mahdollistaa tulevan muuntojouston ja perustuksien lukumäärä on pienempi.

Teräspalkkien yli ulottuvat lattialaatat ovat yleensä joko betonielementtejä tai liittolaattoja. Teräspalkit voidaan sijoittaa lattialaatan alapuolelle siten, että lattia on ylälaipan päällä (tunnetaan usein nimellä "alapalkki"). Palkit voivat olla teräs- tai liittopalkkeja. Liittorakenteessa leikkausliittimet hitsataan palkin ylälaippaan, jolloin kuorma siirtyy betonivälipohjaan. Leikkausliittimet hitsataan usein paikan päällä maalaamattoman palkin ylälaippaan teräslevytyksen läpi (tunnetaan nimellä "läpikannen" hitsaus). Laatta voidaan sijoittaa myös palkkien syvyyteen lattian kokonaiskorkeuden pienentämiseksi; Tällaisia palkkeja kutsutaan matalapalkkeiksi tai integroiduiksi palkkeiksi. Laattojen käytettävissä oleva syvyys on usein ratkaiseva tekijä välipohjaratkaisua valittaessa. Esimerkiksi korkeissa rakennuksissa 30–40 kerroslaatan kokonaiskorkeus voi olennaisesti alentaa rakennuksen hyötytilavuutta.

2.4.2 GLOBAALI ANALYYSI

Matalat rakennukset (kaksi- tai kolmikerroksiset) ovat alttiina melko vaatimattomille vaakasuuntaisille voimille, ja ne voidaan helposti rakentaa riittävän kestävällä jäykistysjärjestelmällä, jotta toisen asteen vaikutukset tulevat minimoiduksi siinä määrin, että sivusiirtymän (sway) vaikutuksia ei tarvitse erikseen ottaa huomioon suunnittelussa. Jäykistäminen voidaan toteuttaa joko diagonaalijäykistein tai teräsbetonisydämellä. Välipohjat toimivat kalvoina, jotka sitovat kaikki pylväät jäykisteisiin tai ytimiin.

Keskikorkeat teräsrungot määritellään kehiksi, joissa vaakasuuntaisten kuormien kestävyydellä tai sivusiirtymävakauden saavuttamisella ei ole merkittävää vaikutusta lattioiden suunnitelmajärjestelyyn tai yleiseen rakennemuotoon. Betoni-/teräsytimiä tai jäykistettyjä osia käytetään yleensä vaakasuuntaisen vakauden takaamiseksi. Tätä rajaa pidetään yleensä kahdessatoista kerroksessa.

Tukematon runko on runko, jossa ei ole betoniydintä tai täydellistä pystysuoraa diagonaalijäykistysjärjestelmää, joka on tarkoitettu ensisijaisesti vaakasuuntaisten kuormien vastaanottamiseen. Tukemattomissa kehissä ainakin joidenkin palkkien ja pylväiden välisten liitosten on oltava momentinkestäviä, jotta vaakasuuntaiset voimat voidaan siirtää perustuksiin ja varmistaa rungon vakaus.

Jäykistetyssä rungossa on rakenteellisia osia, jotka on nimenomaisesti tarkoitettu vaakasuuntaisten voimien siirtämiseen perustuksiin. Nämä komponentit lisäävät rungon

vaakasuuntaista vakautta. Ne voivat olla yksi tai useampi betoniydin, joihin yleensä on sijoitettu hissi- ja porraskuilut. Vaihtoehtoisesti ne voivat olla kokonaisia kolmiomaisia teräsjäykistysjärjestelmiä pystytasoissa (jotka toimivat yhdessä välipohjalevyjen tai vaakasuuntaisten jäykistysten kanssa). Jäykistetyssä rungossa palkit voidaan suunnitella niin, että ne on kiinnitetty päistään nivelellisesti. Pilarit kantavat aksiaalisia kuormia ja (yleensä) minimaalisia momenteja. Palkkien ja pilarien väliset liitokset voidaan suunnitella nimellisesti nivelellisiksi, joten niihin ei muodostu taivutusmomenteja, mutta riittävästä kiertymiskyvystä tulee varmistua.

Yleinen suunnittelumenettely on seuraava:

1. Määritä murtorajatilán (ULS) pystykuormat,
2. Laske ekvivalenttiset vaakasuuntaiset voimat (EHF) epätäydellisyyksien huomioon ottamiseksi,
3. Määritä ULS-vaakakuormat,
4. Määritä vaakasuuntaiset kokonaiskuormat (2 ja 3 yllä),
5. Valitse jäykistysjärjestelmä ja valitse jäykistysosat (eli jos sellaisia on) vaakasuuntaisten kokonaiskuormien perusteella,
6. Suorita 1. kertaluvun analyysi rungon sisäisten voimien ja sivusiirtävyyden määrittämiseksi,
7. Määritä kunkin jäykistetyn laivan jokaiselle kerrokselle α_{cr} vaativimmasta pystysuuntaisten kuormien yhdistelmästä,
8. Määritetä hallitseva α_{cr} pienimmäksi arvoksi, joka on saatu yllä olevasta analyysistä.
9. Päätä saadun α_{cr} :n perusteella, onko 1. kertaluvun analyysi riittävä vai tarvitaanko lisäanalyysiä 2. kertaluvun herkkyyden huomioon ottamiseksi,

jossa α_{cr} on kriittinen kuormakerroin.

Ensimmäisen asteen analyysiä voidaan käyttää, jos EN 1993-1-1 -vaatimus $\alpha_{cr} \geq 10$ koko rungolle ja siten jokaiselle monikerrosrakennuksen kerrokselle täyttyy.

Rakennukset on suunniteltava standardissa EN 1990 määriteltyjä kuormien yhdistelmiä käyttäen. Murtorajatilán tarkastus (katso EN1993-1-1), eli rakennuksen kaikkien rakenneosien lujuuden todentaminen yleisen analyysin tuloksena saaduille rasituksille, on edelleen yksityiskohtaisen suunnitteluprosessin ydin. EN 1993-1-8 [6] antaa suunnittelumenetelmiä pääasiassa staattiselle kuormitukselle alttiiden liitosten suunnitteluun teräslajeilla S235, S275, S355 ja S460.

EN 1990 ja EN 1993-1-1 edellyttävät, että rakenteet täyttävät käyttörajatilán. Monikerroksisiin rakennuksiin liittyvät kriteerit ovat: (1) Vaakasuuntaiset taipumat; (2) Pystysuuntaiset taipumat välipohjajärjestelmissä; (3) Dynaaminen vaste.

2.5 KESTÄVYYS

Metallipinnoitteet (kuumasinkityt ratkaisut) ovat harvinaisempia kuin perinteiset maalipinnoitteet, koska ne ovat yleensä kalliimpia. Uudelleenkäytettävien rakennusten maalipinnoitusjärjestelmiä määriteltäessä suunnittelijat saattavat haluta harkita ISO 12944-1 -standardin mukaista korkeaa tai erittäin korkeaa kestävyysluokkaa maalausjärjestelmälle [11]. Koska maalipinnoitusjärjestelmä on kuitenkin yleensä heikompi kuin galvanoitu ratkaisu, jälkimmäinen on parempi rakenteille, joissa voi olla useita kokoamis- ja

purkukertoja. Kuumasinkittyjen rakenteiden tulisi noudattaa standardeja ISO 1461 [12] ja ISO 14713 [13-15].

2.6 DOKUMENTOINTI, TUNNISTAMINEN JA JÄLJITETTÄVYYS UDELLEENKÄYTTÖÄ VARTEN

Uudelleenkäytön suurimmat haasteet ovat tuotteen ja materiaalin ominaisuuksiin liittyvät epävarmuudet ja niistä johtuvat testausvaatimukset. Jos materiaali-, valmistus- ja rakennuskirjanpito tallennetaan luotettavasti myöhempää käyttöä varten, testaukseen liittyvät kustannukset voidaan välttää. Rakennusten rakenneosien uudelleenkäytön helpottamiseksi nämä tiedot on dokumentoitava, säilytettävä koko rakenteen elinkaaren ajan, päivitettävä tarvittaessa ja liitettävä selkeästi kyseisiin rakenneosiin, jotta ne voidaan myöhemmin tunnistaa. Uudelleenkäyttöprosessin tehokkuus voi kasvaa entisestään, jos tieto tallennetaan koneluettavassa muodossa, kuten tietomalliin (BIM). Tässä osiossa kerrotaan rakennustiedon hallinnan ja komponenttien tunnistamisen peruseräistä.

2.6.1 RAKENNUSMUISTIO

Valmistettavien ja rakennettavien rakennusrakenteiden tulevan uudelleenkäytön helpottamiseksi on hyödyllistä laatia rakennusmuistio, joka sisältäisi suunnittelutiedot, ilmoitetut ja/tai sertifioidut nimellisominaisuudet, kuten:

- teräksen ominaisuudet (esim. tehdassertifikaatit, CE-merkinnät, tuoteselosteet),
- tarjouksessa tarjotut tiedot ja piirustukset,
- valmistus- ja pystytyspiirustukset ja -asiakirjat,
- kaikki liitokset ja jatkokset sauvojen välillä.

Mittausten, arviointien, testien tai tarkastusten tulokset on kirjattava, kuten:

- vaatimustenvastaisuuksien tunnistaminen, esim. mittavaihtelut,
- raportit säännöllisistä huolto-, muutos- ja kunnostustöistä,
- purkamista edeltävät tarkastukset, jos käytössä on olemassa olevia teräsrakenteita,
- valokuvadokumentaatio.

Rakennuksen rakennesuunnitteluasiakirjat perustuvat rakenteellisen teräsrungon kestämiin suunnittelukuormien ja -voimien huomioon ottamiseen missä tahansa käyttösyklissä, ja niissä esitetään ja kuvataan selkeästi kaikki rakenneteräsrakenteen elementit. Niiden tulisi sisältää myös suunnittelua ja rakentamista säätelevät standardit ja koodit, mukaan lukien pulttaus ja hitsaus. Kaikki näihin asiakirjoihin tehdyt muutokset, esimerkiksi rakennemuutokset pystytyksen aikana, on lisättävä alkuperäiseen dokumentaatioon.

On suositeltavaa, että rakennuksen omistaja ylläpitää rakennusmuistiota, koska se sisältää tiedot kaikista rakennuksen muodostavista tuotteista ja sitä vaaditaan yleensä pitämään yksityiskohtaista huoltokirjaa. Näin varmistetaan, että rakennuksessa olevat tuotteet huolletaan asianmukaisesti ja että ne ovat täysin uusien vaatimusten mukaisia, kun ne vaihdetaan tai puretaan uudelleenkäyttöä varten.

Rakennusmuistio voidaan liittää rakennuksen digitaaliseen esitykseen, esimerkiksi sen 3D-arkkitehtimalliin, tietomalliin (toiminnalliset ominaisuudet omaava 3D-malli) tai digitaaliseen kaksoseen (toiminnalliset ominaisuudet ja dynaamiset prosessit sisältävä 3D-malli). Koska

tietomallinnus (BIM) on yleistymässä rakennusalalla, sitä käsitellään tarkemmin seuraavassa osiossa.

2.6.2 TIETOMALLINNUS

Jotta rakenteiden uudelleenkäyttö voisi olla valtavirtaa, digitaalisella tiedolla on keskeinen rooli prosessissa, sillä kaikki olennainen rakennustieto voidaan tallentaa digitaaliseen 3D-malliin tietomallinnusmenetelmällä (BIM). 3D-BIM-mallin tarvitsemien tietojen taso on kaikkien projektin sidosryhmien vastuulla. ISO-standardit EN ISO 19650-1 [16] ja EN ISO 19650-2 [17] otetaan käyttöön tason tai tietotarpeen käsite (LOIN), jota varten ehdotetaan, että kunkin hanketoimijan on määriteltävä olennaiset tiedot, jotka tallennetaan tietyn hankkeen elementin tarkoitusta varten. Rakennetekniikan kannalta keskeisiä käsitteitä ehdotetaan Taulukko 2.3 ja Taulukko 2.4.

Taulukko 2.3 Ehdotetut tietoluokat LOIN:n määritelmää varten: yleinen määritelmä

Luokka	Kuvaus
Asiayhteys	Kunkin elinkaaren osalta: konteksti/aika, jossa/milloin rakenneosaa on käytetty;
Hankkeen toimijat	Kunkin elinkaaren osalta: mukana olevat toimijat asiaankuuluville tieteenaloilta;
Käyttötarkoitus	Kunkin elinkaaren osalta: osan käyttötarkoitukset;
Tunnistaminen	Kunkin elinkaaren osalta: teräsrakennuosan tunnistetiedot ja jäljitettävyyden digitaalisiin tietoihin;
Rakenteellinen suunnitelma	Kunkin elinkaaren osalta: rakennuksen ja osan asianmukaiset suunnittelun olettamet ja suunnitelmadokumentit;
Valmistus ja asennus	Kunkin elinkaaren osalta: tiedot valmistuksesta ja menetelmistä sekä näiden menetelmien laatu;
Alkuperä ja ominaisuudet	Osien materiaalin täydellinen jäljitettävyyden, mukaan lukien tiedot ja todistukset;

Taulukko 2.4 Ehdotetut tietoluokat LOIN:n määrittelyä varten: mahdolliset merkitykselliset tiedot

Luokka	Kuvaus
Asiayhteys	Kunkin elinkaaren osalta: projektin kuvaus, työmaan tiedot, rakennuspäivä jne.
Hankkeen toimijat	Jokaiselle elinkaarelle: arkkitehdit, insinöörit, urakoitsijat jne.
Käyttötarkoitus	Ominaisuudet, kuten kantavuus tai ei-rakenteellinen, rakenteellinen toiminta (palkki, pilarituki), kunto (pysyvä, väliaikainen) jne.
Tunnistaminen	Kunkin elinkaaren osalta: jäsenen tunnistenumero (ID), sijainti (esimerkiksi kerroksen numero, lohkonumero), muu asiaankuuluva visuaalinen ominaisuus; osion sarjakoko jne.;
Rakenteellinen suunnittelu	Jos elementti kuuluu primääri- tai toissijaiseen rakennejärjestelmään (esimerkiksi EN 1998-1 -standardin mukaan), sitkeysluokka standardin EN 1998-1 mukaan, paloluokitus, kriittinen lämpötila, käyttökerroin ja/tai vastukset, nastojen yksityiskohdat, lattian/elementin taajuus/vastekerroin/OS-RMS90, käytönaikaiset taipumat, projektin kuormitus (lattioiden kuormitukset, tuulen vaikutus, lumikuorma jne.), liitostyyppi (kiinnitetty, kiinteä tai joustava – määritä jäykkyys), Suurin

	taivutusmomentti ja leikkausvoimat kappaleessa ja liitossuunnittelussa, sidontavoimissa jne.
Valmistus ja asennus	Kullekin elinkaarelle: valmistusyritys, valmistuspäivä, toteutusstandardi (esimerkiksi EN1090-2), toteutusluokka, valmistustiedot (projektinumero), asennusyritys, asennuspäivä, pinnoitus-/galvanointiyksityiskohdat (luokka, kestävyys, paksuuntuminen/massa)
Alkuperä ja Ominaisuudet	<u>Uusi teräs</u> : tuottaja, tehtaan sertifikaatin numero/tunnus, materiaaliuotestandardi, toimitusehto (EN 10204), teräslaatu, alalaatu ja Z-laatu, lämpökäsittelyn toimitusolosuhteet, geometriset tuotestandardit jne. <u>Kierrätetty teräs</u> : varastonhaltija, vertailustandardi (esimerkiksi EN 10025-2 tai EN 10219-1), laatu, asiaankuuluvat ominaisuudet standardin EN 1090-2 kohdan 5.1 mukaisesti (mitatut/määritetyt arvot ja suunnitteluarvot), varastonhaltijan sisäisen dokumentaation viite, tuotestandardit (esimerkiksi EN 10365 ja EN 10034) jne.

Ehdotuksia Taulukko 2.4 voidaan käyttää viitteenä määrittäessä teräsosista osana BIM-mallia tallennettavien tietojen tasoa. Viitteitä [18] [19] ja [20] voidaan käyttää BIM-mallin tietotarpeen tason määrittämiseen. CWA 17316 -ohjelomaketta [21] voidaan käyttää tietojenvaihdon helpottamiseen.

2.6.3 TERÄSTUOTTEIDEN JÄLJITETTÄVYYS TULEVAA UUELLEENKÄYTTÖÄ VARTEN

Tuotteiden ja materiaalien ominaisuuksien työlään todentamisen välttämiseksi fyysisten tuotteiden ja niiden digitaalisten tietojen (seurantajärjestelmän) välille tulisi luoda yhteys. Tyypillisesti komponenttien seurantajärjestelmä otetaan käyttöön valmistus- ja asennusprosessien aikana. Sitä ei kuitenkaan useimmiten säilytetä rakennuksen elinkaarta. On suositeltavaa, että rakennuksen koko elinkaaren ajaksi tarjotaan kestävämpi järjestelmä, joka on yhdistetty digitaaliseen malliin, jossa rakennuksesta ja rakenneosista voidaan säilyttää olennaiset tiedot. Tämä toimenpide helpottaa teräsrakenteiden uudelleenkäyttöä ilman lisätestejä.


Tätä tarkoitusta varten olisi otettava käyttöön pysyvät merkinnät, ja merkinnät olisi kiinnitettävä suoraan teräsrakenteisiin. Merkintöjen tulee olla yksilöllisiä kullekin rakenneosaryhmälle, jolla on samat nimellisominaisuudet, mutta on suositeltavaa, että merkinnät ovat erilaisia kullekin komponentille, jotta tämä komponentti voidaan yhdistää mittausten, arviointien, testien tai tarkastusten tiettyihin tuloksiin.

Esimerkkejä pysyvistä merkinnöistä ovat laserkaiverretut levyt, joissa on näkyviä tietoja, tai radiotaajuinen tunnistus (RFID) -tunnisteet, joiden tiedot ovat luettavissa RF-skannerilla. Molemmilla menetelmillä olisi oltava yksilöllinen tunniste, joka voidaan yhdistää digitaalisesti tallennettuihin tietoihin; esimerkiksi laserkaiverrettu tunniste voi olla QR-koodi, viivakoodi tai vain yksinkertainen tunnistekoodi. Molemmat menetelmät voivat valinnaisesti sisältää tärkeimmät tiedot (kuten CE-merkinnän) suoraan merkintään. Tämä voi tapahtua kaiverretun taulukon muodossa olennaisista ominaisuuksista tai tiedoista, jotka on tallennettu RFID-antenniin kytketylle muistisirulle. Esimerkki kierrätetyn elementin QR-koodista on esitetty Taulukko 2.5.

On olennaisen tärkeää, että digitaaliset tiedot (rakennusmuistio, tietomalli jne.) ovat rakennuksen omistajan ja purku-, korjaus- ja rakennuslupia myöntävien asianomaisten

rakennusviranomaisten saatavilla rakennuksen ja sen osien koko elinkaaren ajan. Ilmoitusten ja todistusten sisältämien tietojen luotettavuus voidaan taata esimerkiksi käyttämällä riippumattomia jäljitettävyyjärjestelmiä (kuten Tracimat Belgiassa), rakennusviranomaisten hallinnoimia tietokantoja, uudelleensertifiointista vastaavia teräsvalmistajia tai lohkoketjuja.

Taulukko 2.5 Pysyvään fyysiseen etikettiin tallennettavat ehdotetut tiedot

<p><i>Esimerkki mahdollisesta QR-koodista Komponenttien seuranta varten:</i></p>  <p>(Kokeile minua)</p>	<p>Tyyppi: Kierrätetty Alkuperä: Iso-Britannia, Ascot Teräsaika: 1975 Tunnus: C10 Valmistaja: Nimi Suunnittelija: Nimi Osakkeenomistaja: Nimi Osakkeenomistajan todistus: AA001 Teräksen nimitys: S355JR Vakiomateriaali: EN1090-2 cl. 5.1 Myötölujuuden suunnitteluarvo (MPa): 355 Vetolujuuden suunnitteluarvo (MPa): 470 Mitattu myötölujuus (MPa): 405 Mitattu vetolujuus (MPa): 520 Mitattu venymä (%): 23 Mitattu CEV: 0,45 Profiili: IPE500 Mitat: EN 10365 Toleranssit: EN 10034</p>
--	--

3 Uusien rakennusten kuormitus ja kuormien yhdistäminen

Yksikerroksisia teräsrakennuksia kuormittaa niiden omapaino, talotekniikka, tuuli- ja lumikuormat. Ne voidaan suunnitella tukemaan parvikerroksia ja nostureita, ja niissä on usein ylimääräisiä toimistotiloja, suuria katoksia ja muita arkkitehtonisia piirteitä.

Monikerroksisissa teräsrakennuksissa hyötykuormat on lisättävä, ja niitä edustavat tasaisesti jakautuneet kuormat, katoihin tai lattioihin kohdistuvat pistekuormitukset tai näiden kuormien yhdistelmät.

Lumikuormat ja tuulikuormat ovat paikkakohtaisia (sijainti, korkeus). Niihin vaikuttavat myös rakenteen geometria ja paikallinen topografia rakennuksen välittömässä läheisyydessä. Yksikerroksisissa teräsrakennuksissa nämä kuormitukset vaikuttavat saman pohjapiirroksen ja runkovälin rakennuksen uudelleenkäyttöön.

3.1 KUORMIEN OMINAISARVOT

3.1.1 KATTOKUORMAT

Kattojen pysyviä kuormituksia ovat muun muassa verhouksen omapaino ja käyttökuormat, kuten ilmanvaihto ja valaisimet jne., teräsrakenteiden omapainon lisäksi. Kattokomponenttien tyypilliset omapainot on esitetty Taulukko 3.1. Vähintään 0,10 kN/m² lisäystä toissijaisille elementeille suositellaan. Pysyville käyttökuormille nimellisarvo 0,30 kN/m² olisi sallittava valaistusyksiköille, sprinklerijärjestelmien putkille, ilmastointikanaville jne., mutta myös aurinkopaneeleille. Taulukko 3.2 esittää suositellut omapainot erityyppisille kattoverhouksille.

Taulukko 3.1 Kattokomponenttien omapainot

Sekundäärisen teräsrakenteen tyyppi	Paino (kN/m ²)
Yksikerroksinen kattopelti (lyhyt jänneväli ja pitkä jänneväli)	0.04 – 0.20
Eristys (mineraalivilla 100 mm paksuutta kohti)	0.04 – 0.08
Eristyslevyt, 25 mm paksuutta kohti	0.07
Eristyslasikuitu, 100 mm:n paksuutta kohti	0.01
Vuorausalustat (paksuus 0,4 mm – 0,7 mm)	0.09 – 0.13
Sandwich-paneelit (paksuus 40 mm – 150 mm)	0.10 – 0.15
Teräksiset orret/kiskot (jaettu kattoalueelle)	0.04 – 0.07
Teräksiset orret	0.03 – 0.08

Taulukko 3.2 Suositellut omapainot erityyppisille kattoverhouksille

Kattoverhouksen tyyppi	Paino (kN/m ²)
Kevyet sandwich-paneelit (lyhyet jännevälit, paksuus jopa 100 mm)	0.15
Raskaat sandwich-paneelit (pitkät jännevälit, paksuus jopa 200 mm)	0.35
Profiilit, teräslevyt, eristeet ja kalvot (pitkät jännevälit)	0.60

Kattoihin kohdistuvat kuormitukset on määritelty standardin EN 1991-1-1 6.3.4.2 (1) kohdassa [64] ja standardin kansallisissa liitteissä. Näitä kuormia tarvitaan vain pääsyyn, puhdistukseen tai huoltoon (luokka H). Suositellut arvot ovat $q_k = 0,4 \text{ kN/m}^2$ ja $Q_k = 1,0 \text{ kN}$. Niitä ei tule lisätä lumi- tai tuulikuormiin. Euroopan maissa yleisesti hyväksytyt arvot on tiivistetty Taulukko 3.3 katon kaltevuudelle, joka on enintään 6 astetta.

Taulukko 3.3 Kattojen kunnossapidosta aiheutuvat kuormat (luokka H)

Maa	$q_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$	$Q_k \text{ (kN)}$
Belgia	0.80	1.5
Tšekin tasavalta	0.75	1.0
Suomi	0.40	1.0
Ranska	0.80	1.5
Saksa	-	1.0
Irlanti	0.60	1.0
Italia	0.40	1.0
Alankomaat	1.00	1.5
Norja	0.75	1.5
Portugali	0.40	1.0
Romania	0.50	1.0
Slovakia	0.75	1.0
Espanja	0.40	1.0
Ruotsi	0.40	1.0
Iso-Britannia	0.60	0.9

3.1.2 KUORMAT VÄLITASOISSA JA MONIKERROKSISTEN RAKENNUSTEN VÄLIPOHJISSA

Kevyissä lattiaratkaisuissa omapainon arvoksi suositellaan 1 kN/m^2 tulevan käytön muuntojouston mahdollistamiseksi. Raskaita lattiaratkaisuja, kuten betonielementtejä, tukevien valssattujen palkkien omapaino voi olla $3\text{--}4,5 \text{ kN/m}^2$ laatan jännevälistä ja paksuudesta riippuen. Lisäys $1,75 \text{ kN/m}^2$ suositellaan verhoiluun ja talotekniikkaan. Taulukko 3.4 esittää monikerroksisten rakennusosien tyypilliset painot.

Taulukko 3.4 Rakennusosien tyypilliset painot [22]

Alkuaine	Paino [kN/m^2]
Elementtielementit (6 m, suunniteltu 5 kN/m^2 kuormitukselle)	3,5 ja 4,5
Komposiittilaatta (normaalipainoinen betoni, paksuus 140 mm)	2,8 ja 3,5
Komposiittilaatta (kevyt betoni, paksuus 130 mm)	2.1 ja 2.5
Palvelut (valaistus)	0.25
Katot	0.1
Teräsrakenne (matala 2-6 kerrosta)	0,35 ja 0,50
Teräsrakenne (keskikorkea 7-12 kerrosta)	0,40 ja 0,70

Lattioihin kohdistuvat kuormitukset on esitetty standardin EN 1991-1-1 lausekkeessa 6.3.1.2(1) [64] toimisto- ja asuinalueiden osalta ja niistä on esitetty yhteenveto Taulukko 3.5. Arvo $3,0 \text{ kN/m}^2$ suositellaan toimistotiloihin ja $2,0 \text{ kN/m}^2$ asuintiloihin vakioarvoina.

Taulukko 3.5 Määrätyt kuormat asuin-/toimistoille ja parvikerroksille

Maa	Asuinrakennus* (luokka A)		Toimisto (B-luokka)	
	q_k (kN/m ²)	Q_k (kN)	q_k (kN/m ²)	Q_k (kN)
Belgia	2.00	2.00	3.00	3.00
Suomi	2.00	2.00	2.50	2.00
Ranska	1.50	2.00	2.50	4.00
Saksa	1.50	2.00	2.00	2.00
Irlanti	1.50	2.00	3.00	4.50
Italia	2.00	2.00	3.00	2.00
Alankomaat	1.75	3.00	3.00	3.00
Norja	2.00	2.00	3.00	2.00
Portugali	2.00	2.00	3.00	4.00
Romania	1.50	2.00	2.50	4.50
Espanja	2.00	2.00	3.00	4.00
Ruotsi	2.00	2.00	2.50	3.00
Iso-Britannia	1.50	2.00	2.50	2.70
* vain lattiat				

3.1.3 LUMIKUORMAT

Lumikuormat riippuvat paikallisesta ilmastosta, maastosta, katon kaltevuudesta, kattotyypistä ja rakennuksen geometriasta. EN 1991-1-3 [23] täsmennetään, että lumikuormat on määritettävä *Normaalit olosuhteet* (jatkuva suunnittelutilanne) ja *Poikkeukselliset olosuhteet* (jatkuvat ja tahattomat suunnittelutilanteet). Kattojen lumikuormat, sellaisina kuin ne näkyvät lausekkeessa 5.2(3), on esitetty alla:

- Pysyviin suunnittelutilanteisiin:

$$s = \mu_i C_e C_t s_k \quad (3.1)$$

- Poikkeuksellisen lumikuorman vahingossa tapahtuviin suunnittelutilanteisiin:

$$s = \mu_i C_e C_t C_{esl} s_k \quad (3.2)$$

- Poikkeuksellisen lumikinoksen vahingossa tapahtuviin suunnittelutilanteisiin:

$$s = \mu_i s_k \quad (3.3)$$

missä μ_i lumikuorman muotokerroin,
 s_k maahan kohdistuvan lumikuorman ominaisarvo (50 vuoden toistumisaika),
 C_e altistuserroin, joka vaihtelee topografian mukaan,
 C_t lämpökerroin,
 C_{esl} kerroin poikkeuksellisille kuormille.

Suosittelut arvot näille kertoimille katon kaltevuudelle, joka on enintään 6 astetta, ovat:

$$\mu_i = 0.8 \quad C_e = 1.0 \quad C_t = 1.0 \quad C_{esl} = 2.0.$$

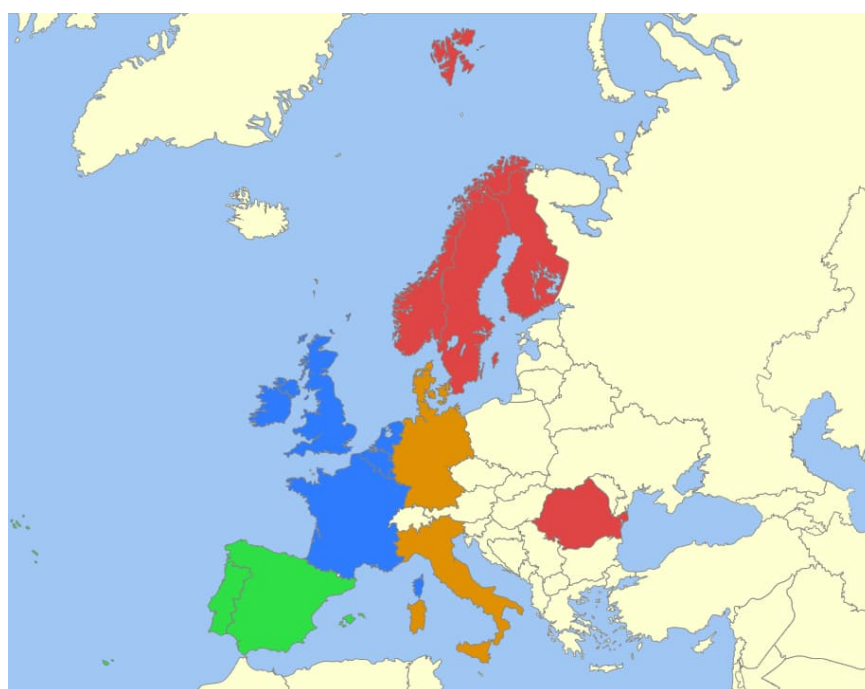
Lumikuorman vaihtelut johtuvat pääasiassa s_k :n vaihtelusta. EN 1991 Osa 1-3 jakaa Euroopan yhdeksään eri ilmastoalueeseen ja määrittelee laskettavat vyöhykkeet s_k korkeuden (merenpinnasta) funktiona. Tässä yhteydessä ehdotetaan käytettäväksi neljää eri lumiluokkaa. Kunkin luokan suositellulle arvo s_k ehdotetaan uudelleenkäytön sallimista samoilla ja matalammilla lumialueilla (Taulukko 3.6 ja Kuva. 3.1).

Taulukko 3.6 Ehdotetut lumiluokat S1 - S4 kattojen suunnitteluun

Maa	s_k (kN/m ²)			Lumiluokka
	Min. ^{a)}	Maan keskiarvo ^{b)}	Min. Eurooppalainen arvo	
Suomi	2.00	2.75	2.00	S1
Romania	1.50	2.00		
Norja	1.50	3.50		
Ruotsi	1.50	2.50		
Saksa	0.45	0.85	1.00	S2
Italia	0.60	1.00		
Iso-Britannia	0.45	0.65	0.70	S3
Ranska	0.45	0.65		
Irlanti	0.40	0.55		
Alankomaat	0.70	0.70		
Belgia	0.50	0.70	0.40	S4
Portugali	0.10	0.30		
Espanja	0.30	0.40		

^{a)} Olettaen, että maan vähemmän kriittisen vyöhykkeen keskimääräinen korkeus on

^{b)} Olettaen, että maan suurinta osaa edustavan vyöhykkeen keskimääräinen korkeus on



Kuva. 3.1 Lumikuormakartan suunnitteluluokat perustuvat Taulukko 3.6

3.1.4 TUULIKUORMAT

EN 1991-1-4 [24] käsittelee tuulenpainetta ekvivalentteina staattisena kuormituksena. Tuulen perusnopeus perustuu 10 minuutin keskimääräiseen tuulennopeuteen tarkasteltavassa maantieteellisessä sijainnissa. Tämä korjataan orografian, maaston epätasaisuuden ja tuulelle altistumisen keston vaikutuksilla, joille dynaaminen paine lasketaan. Tämä muunnetaan sitten pintaan kohdistuvaksi voimaksi käyttämällä paine- tai voimakertoimia, jotka riippuvat rakennuksen muodosta.

Tuulen perusnopeus v_b määritellään standardin EN 1991-1-4 4.2 kohdassa tuulen suuntakertoimen C_{dir} ja vuodenaikakertoimen C_{season} funktiona, jotka muuttavat tuulen perusnopeutta $v_{b,0}$ seuraavasti (maaston epätasaisuusluokka II):

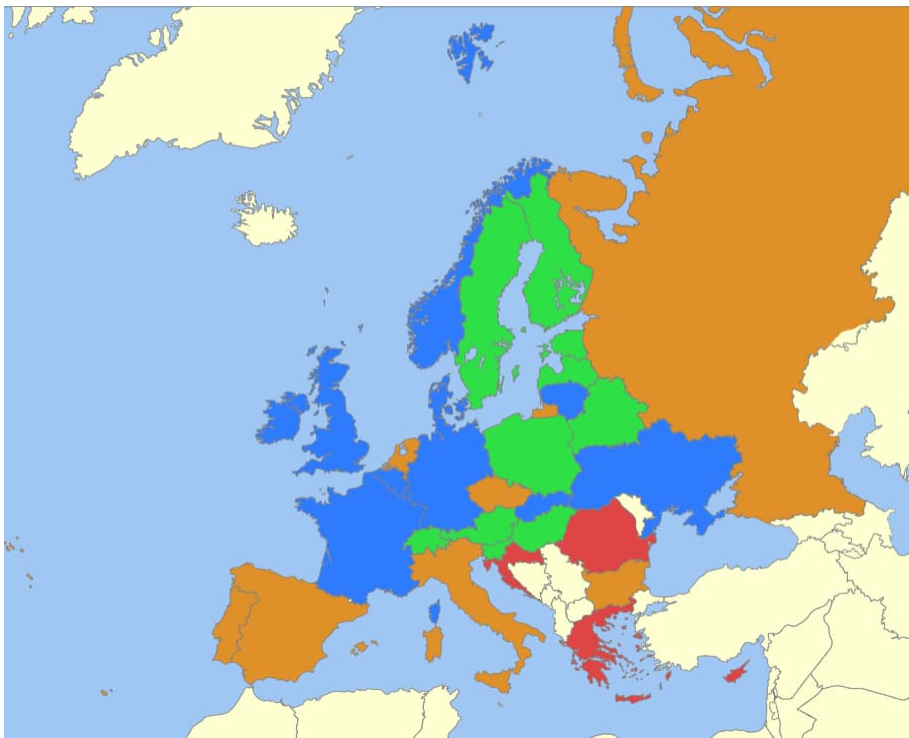
$$v_b = C_{dir} C_{season} v_{b,0} \quad (3.4)$$

Arvo $v_{b,0}$ on kansallinen valinta 50 vuoden toistumisajalle. Taulukko 3.7 esitetään tämän parametrin rajat ja keskiarvo eri Euroopan maissa [25]. Näiden arvojen perusteella EU:n vähimmäisarvo $v_{b,0}$ ehdotetaan ja määritellään neljä eri tuuliluokkaa (Kuva. 3.2 ja Taulukko 3.7). Siksi kunkin eurooppalaisen luokan perusnopeuspaine $v_{b,class}$ voidaan saada standardin EN 1991-1-4 yhtälöstä (4.10) seuraavasti:

$$q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2 \quad (3.5)$$

missä ρ on ilman tiheys ja ehdotettu arvo on $1,25 \text{ kg/m}^3$.

Nopeuspaineita käytetään sitten huippunopeuspaineen saamiseksi tietyllä korkeudella.



Kuva. 3.2 Tuulikuormakartan suunnitteluluokat perustuvat Taulukko 3.7

Taulukko 3.7 Tuulen perusnopeus Euroopan maiden mukaan: tuuliluokat

Maa	v_{b0} (m/s)			q_{b0} .keskiarvo (kN/m ²)	v_{B0} ,luokka (m/s)	$q_{b,class}$ (kN/m ²)	Tuuliluokka
	Min.	Max.	Keskiarvo				
Kroatia	20	48	29	1.05	>28	1.20	W1
Kypros	24	40	29	1.05	>28		
Kreikka	27	33	29	1.05	>28		
Romania	27	35	31 ^{a)}	1.20	>28		
Bulgaria	24	36	27	0.91	28	0.98	W2
Tšekin tasavalta	23	36	27	0.91	28		
Italia	25	31	27 ^{a)}	0.91	28		
Alankomaat	25	30	27 ^{a)}	0.91	28		
Portugali	27	30	27 ^{a)}	0.91	28		
Venäjä	20	44	27	0.91	28		
Espanja	26	29	27 ^{a)}	0.91	28		
Belgia	23	26	24	0.72	26	0.85	W3
Tanska	24	27	25	0.78	26		
Ranska	22	28	24 ^{a)}	0.72	26		
Saksa	23	30	25 ^{a)}	0.78	26		
Irlanti	25	28	26	0.85	26		
Liettua	24	32	26	0.85	26		
Luxemburg	24	24	24	0.72	26		
Norja	22	31	25	0.78	26		
Slovakia	24	26	24	0.72	26		
Iso-Britannia	22	32	25 ^{a)}	0.78	26		
Ukraina	24	31	26	0.85	26		
Itävalta	18	28	21	0.55	23	0.66	W4
Valko-Venäjä	22	24	22	0.61	23		
Viro	21	21	21	0.55	23		
Suomi	21	26	22 ^{a)}	0.61	23		
Unkari	24	24	23	0.66	23		
Latvia	21	27	23	0.66	23		
Puola	22	26	23	0.66	23		
Slovenia	20	30	23	0.66	23		
Ruotsi	21	26	22	0.61	23		
Sveitsi	20	24	21	0.55	23		

^{a)} Tavanomainen arvo NA/paikallisen standardin mukaan

Suunnittelua varten on tarpeen laskea huippunopeuspaine korkeudella z , joka sisältää keskimääräiset ja lyhytaikaiset nopeuden vaihtelut, voidaan laskea seuraavan lausekkeen mukaisesti (EN1991-1-4, kohta 4.5): $q_p(z)$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m(z)^2 = c_e(z) \cdot q_b \quad (3.6)$$

missä:

$I_v(z)$ – turbulenssin voimakkuus korkeudella z määritellään turbulenssin keskihajonnaksi jaettuna keskimääräisellä tuulen nopeudella,

ρ – on ilman tiheys, joka riippuu korkeudesta, lämpötilasta ja ilmanpaineesta, joka on odotettavissa alueella myrskyjen aikana,

$c_e(z)$ – on altistustekijä,

q_b – on perusnopeuspaine,

$v_m(z)$ – keskimääräinen tuulen nopeus korkeudella z maaston yläpuolella, joka riippuu maaston epätasaisuudesta ja orografiasta sekä tuulen perusnopeudesta, ja joka määritetään seuraavalla lausekkeella: v_b

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b, \quad (3.7)$$

$c_r(z)$ – on karheuskerroin,

$c_0(z)$ – on orografiakerroin, jota pidetään 1,0:na tapauksissa, joissa orografia (esim. kukkulat tai kalliot) lisää tuulen nopeuksia alle 5 % tai kun vastatuulen maaston keskimääräinen kaltevuus on alle 3°. Orografiset vaikutukset voidaan laskea standardin EN1991-1-4 liitteen A.3 mukaisesti. Kansallisissa liitteissä voidaan määrätä muutoksia tähän menettelyyn.

Orografia ja karheustekijät ovat liian riippuvaisia rakennuksen sijainnista, jotta niiden uudelleenkäyttöä koskevia suosituksia voitaisiin antaa. Nyrkkisääntönä on kuitenkin suositeltavaa pitää perusnopeuspaineen ja huippunopeuspaineen välinen suhde 15 metrissä: käytettäessä kohdassa ehdotettuja tuulikuormitusluokkia $q_p(15)/q_b \geq 1.15$ Taulukko 3.7 ja Kuva. 3.2.

3.1.5 TUULI- JA LUMIKUORMIEN LUOKITUSTEN KÄYTTÖÄ KOSKEVAT OHJEET

Uusien rakennusten ehdotettu suunnitteluprosessi edellyttää pääasiassa seuraavia vaiheita:

- Määritä lumi- ja tuulikuormat rakennuspaikan mukaan, jossa on otettava huomioon kansallisesti määritellyt parametrit,
- Vertaa rakennuspaikan mukaisia lumi- ja tuulikuormia eri suunnitteluluokille määriteltyihin arvoihin, joita ehdotetaan Taulukko 3.6 ja Taulukko 3.7. Suunnittelijat voivat halutessaan käyttää ehdotettuja maakohtaisia keskiarvoja tai eurooppalaisia kuormitusluokkien arvoja,
- Teknistä harkintaa tarvitaan, jotta voidaan arvioida kustannusvaikutuksia, joita aiheutuu suunnittelukuormituksen lisäämisestä ehdotettuihin arvoihin Taulukko 3.6 ja Taulukko 3.7.

Tämä lähestymistapa on tarkoituksenmukainen tapauksissa, joissa koko rakennuksen on odotettavissa tapahtuva uudelleensijoittaminen ja uudelleenkäyttö.

Teknisessä arvioinnissa on otettava huomioon suunnitteluprosessin lopputulos eikä pelkkä vertailu rakennuspaikan mukaisen kuormituksen ja ehdotettujen arvojen välillä (Taulukko 3.6 ja Taulukko 3.7). Käytännön suunnitteluskenaarioissa käytettävissä olevat poikkileikkauskoot voivat johtaa rakenneosien alhaiseen käyttöasteeseen, mikä voi mahdollistaa suunnittelukuormituksen lisäämisen ratkaisun kustannuksia lisäämättä.

Suunnittelijat voivat halutessaan dokumentoida rakenteen ULS-kapasiteetin eli mitkä tyypilliset lumi- ja tuulikuormat ovat sallittuja rakenteelle.

Vaikka suunnitteluluokissa käytetään ehdotettuja arvoja, suunnittelun tuloksissa on todennäköisesti eroja, jotka perustuvat erilaisiin kansallisessa liitteessä määriteltyihin parametreihin. Kansallisten keskiarvojen tai ehdotettujen eurooppalaisten kuormitusluokkien arvojen käyttö yhdessä rakenteen kantokyvyn dokumentoinnin kanssa lisää uudelleenkäyttömahdollisuuksia.

3.1.6 OMINAISKUORMIEN MUKAUTTAMINEN TOISTUMISAJAN PERUSTEELLA

Muuttuvien toimintojen ominaisarvot standardin EN 1991 mukaisesti on kalibroitu 50 vuoden suunnitellun käyttöiän mukaan. Suunnitellun käyttöiän lyhentämiseksi suunnittelijat saattavat haluta pienentää muuttuvien toimintojen ominaisarvoja (suositellaan vain olemassa oleville rakennuksille tai koko rakenteen siirtoskenaariolle). Jos suunniteltu käyttöikä on yli 50 vuotta, muuttujan toiminnot ominaisarvo on korjattava.

Lumikuorma

Standardin EN 1991-1-3 liitteen D mukaan yli 5 vuoden palautusjaksoilla, jos käytettävissä olevat tiedot osoittavat, että vuotuisen suurimman lumikuorman voidaan olettaa noudattavan Gumbelin todennäköisyysjakaumaa, maahan kohdistuvan lumikuorman ominaisarvon ja maahan kohdistuvan lumikuorman välinen suhde n vuoden keskimääräisellä toistumisvälillä saadaan seuraavalla kaavalla:

$$s_n = s_k \left\{ \frac{1 - V_x \frac{\sqrt{6}}{\pi} \ln(-\ln(1 - P_n)) + 0.57722}{(1 + 2.5923 V_x)} \right\} \quad (3.8)$$

missä:

s_k – Onko tyypillinen lumikuorma maahan (50 vuoden toistumisaika standardin EN 1990 mukaisesti),

s_n – Onko maan lumikuorma, jonka paluu-aika on n vuotta,

P_n – Onko ylityksen vuotuinen todennäköisyys (vastaa noin $1/n$, jossa n on vastaava toistumisväli (vuosia),

V_x – On vuotuisen suurimman lumikuorman vaihtelukerroin, jonka asianomainen kansallinen viranomais voi määrittää. Arvoja välillä 0.2–0.6 ehdotetaan informatiivisiksi arvoiksi standardin EN1991-1-3 liitteen D mukaisesti. Rakennuksen käyttöiän lyhentämiseksi suositellaan arvoja välillä $V_x = 0,20 - 0,30$.

Eri variaatiokertoimien arvot ovat s_n/s_k annettu Taulukko 3.8.

Taulukko 3.8 Lumikuorman säätö paluuajan mukaan (EN1991-1-3)

Paluu jakso	s_n/s_k					
	$V_x=0,20$	$V_x=0,30$	$V_x=0,40$	$V_x=0,50$	$V_x=0,60$	$V_x=0,70$
15	0.87	0.84	0.81	0.79	0.78	0.76
30	0.95	0.93	0.92	0.91	0.91	0.90

50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
75	1.04	1.05	1.06	1.07	1.07	1.08
100	1.07	1.09	1.11	1.12	1.13	1.14
125	1.09	1.12	1.14	1.16	1.17	1.18

Lumikuorman vaihtelukerroin voi vaihdella välillä 0,30 ja 1,15. Arvoja välillä 0,30 ja 0,70 ehdotetaan alarajaksi ja keskiarvoksi [26]. Arvo voidaan määrittellä tietyille maille kansallisilla liitteillä tai muilla päteville viitteillä.

Tuulikuorma

Keskimääräinen tuulen nopeus, jonka vuotuisen ylityksen todennäköisyys on p , määritetään kertomalla tuulen perusnopeus v_b todennäköisyyskertoimella c_{prob} , joka saadaan seuraavalla lausekkeella (standardin EN 1991-1-4 4.2 kohdan huomautus 4):

$$c_{prob} = \left(\frac{1 - K \cdot \ln(-\ln(1 - p))}{1 - K \ln(-\ln(0.98))} \right)^n \quad (3.9)$$

missä:

K – on ääriarvojakauman variaatiokertoimesta riippuva muotoparametri,
 n – on eksponentti.

Eurokoodin ydinkoodin mukaan suositellut arvot ovat $K = 0,2$ ja $n = 0,5$. Todennäköisyys p voidaan saada palautusajan perusteella eli 50 vuoden toistumisajalla, $p = 1/50 = 0,02$, joka johtaa $c_{prob} \approx 1.00$. Eri toistumisaikojen arvoja kansallisin parametrein löytyy Taulukko 3.9.

Taulukko 3.9 Tuulikuorman säätö paluuajan mukaan (EN1991-1-4)

Standardi	K	n	c_{prob}					
			Palautusaika					
			15	30	50	75	100	125
Eurokoodin ydin	0.20	0.50	0.93	0.97	1.00	1.02	1.04	1.05
Saksa NA	0.10	1.00	0.91	0.96	1.00	1.03	1.05	1.07
Ranska NA - $s > 0,02$	0.15	0.50	0.94	0.98	1.00	1.02	1.03	1.04
Ranska NA - $p \leq 0,02$	0.20	0.50	0.93	0.97	1.00	1.02	1.04	1.05
Neverlands NA - Vyöhyke I	0.20	0.50	0.93	0.97	1.00	1.02	1.04	1.05
Neverlands NA - vyöhyke II	0.234	0.50	0.92	0.97	1.00	1.02	1.04	1.05
Neverlands NA - Vyöhyke III	0.281	0.50	0.91	0.96	1.00	1.03	1.05	1.06
Yhdistynyt kuningaskunta NA	0.20	0.50	0.93	0.97	1.00	1.02	1.04	1.05
Portugali NA	0.11	1.00	0.91	0.96	1.00	1.03	1.05	1.07

Hyötykuormat

Kuten edellisissä osissa on osoitettu, lumeen ja tuuleen sopeutumista käsitellään standardin EN 1991 asiaankuuluviissa osissa todennäköisyyskertoimen (c_{prob}) avulla. Välipohjaan kohdistuvien rakennuksen hyötykuormien osalta muuttujan ominaisarvoja voidaan säätää standardin EN 1990 Alankomaiden kansallisen liitteen A1.1(2) lausekkeessa ehdotetun menettelyn mukaisesti [27] seuraavasti (ks. Taulukko 3.10):

$$q_t = q_{t0} \left(1 + \frac{1 - \psi_0}{9} \ln \frac{t}{t_0} \right) \quad (3.10)$$

missä:

q_t – on muuttuvan kuorman mukautettu ominaisarvo suunnitellun käyttöiän kannalta,
 q_{t0} – on kuorman karakteristinen arvo 50 vuoden suunnitellun käyttöiän aikana,
 ψ_0 – on muuttuvan kuorman yhdistelykerroin (EN 1990),
 t – on tavoiteltu suunnittelukäyttöikä,
 t_0 – on 50 vuoden vakiokäyttöikä.

Taulukko 3.10 Lattiakuormituksen säätö palautusajan ja yhdistelykertoimen mukaan

q_t/q_{t0}						
ψ_0	Palautusaika					
	15	30	50	75	100	125
0.50	0.93	0.97	1.00	1.02	1.04	1.05
0.60	0.95	0.98	1.00	1.02	1.03	1.04
0.70	0.96	0.98	1.00	1.01	1.02	1.03
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

3.1.7 LÄMPÖKUORMAT

Teräsrakenteen lämpötilan muutokset aiheuttavat teräselementteihin lämpöjännityksiä. Lämpölaajeneman suuruus on yhtä suuri kuin lämpölaajenemiskerroin, joka ilmoitetaan standardissa EN 1993-1-1 muodossa $\alpha = 12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ vähintään $100\text{ }^{\circ}\text{C}$:n lämpötiloissa kerrottuna lämpötilan nousulla. Tämä vastaa 1,2 mm:n laajenemista lämpötilan nousuastetta kohti 100 metriä rakennusta. Lämpölaajenemisen seurauksena voi olla rakenneosan vapaa laajeneminen, jos rajoitusta ei ole, tai jos laajeneminen on täysin estetty, syntyy aksiaalinen jännitys.

Portaalikehissä, joissa on pystysuora jäykistysjärjestelmä rakennuksen päissä olevissa sivuseinissä, aksiaaliset voimat ilmenevät rakenneosissa, jotka ovat jatkuvia jäykistettyjen laivojen välillä, lämpölaajenemisesta. Normaalivoima riippuu lämpötilan muutoksesta rakennuksen rakentamisen jälkeen ja tukien jäykkyydestä.

Käytännössä normaalijännityksiä voidaan lieventää liukuman mahdollistavilla ruuviliitoksilla tai toissijaisten rakenneosien elastisella nurjahduksella aksiaalisen kuormituksen keventämiseksi. Jatkuvat pitkittäiselementit, kuten nosturin kiitotien palkit, nosturikiskot, laaksopalkit ja räystäspalkit, tulee harkita huolellisesti ja suunnitella lämpötilan muutoksesta johtuville aksiaalisille kuormille. Standardin EN 1991-1-5 antamia ohjeita [28] tulee noudattaa lämpövaikutuksen määrittämiseksi. Erittäin jäykät rakenneosat, kuten nosturin kiitotien palkit, voivat mahdollisesti kehittää suuria voimia lämpölaajenemisen vuoksi.

Nyrkkisääntönä ehdotetaan, että jos 150 metrin keskipisteissä on liikuntasaumat tyypillisille portaaliikelle, joissa ei ole nosturia, pitkittäisosia ei tarvitse suunnitella kestävästi laajenemisen estämisestä johtuvia rasituksia. Pystysuorien jäykistysjärjestelmien sijoittaminen liikuntasauvojen puoliväliin mahdollistaa rajoittamattoman laajenemisen pois päin jäykistetyistä paikasta.

Poikittaissuunnassa lämpötilan muutokset johtavat portaaliikkeen pituuden muutoksiin. Jopa neljälaivaisen portaaliikkeen elastinen analyysi osoittaa, että lämpövaikutuksen vaikutukset tason suunnassa ovat riittävän pieniä, jotta ne voidaan jättää huomiotta sisätiloissa sijaitsevilla teräsrakenteilla.

Myös monikerroksisten rakennusten teräsrungot laajenevat ja supistuvat lämpötilan muuttuessa. Usein itse teräsrakenteen lämpötilan muutos on paljon pienempi kuin ulkolämpötilan muutos, koska teräsrakenne on suojattu. On suositeltavaa välttää liikuntasauvoja, jos mahdollista, koska ne ovat kalliita ja niiden yksityiskohtia voi olla vaikea suunnitella ja toteuttaa oikein sääntöihin ulkovaipan aikaansaamiseksi. Liikuntasauvojen sijaan runko voidaan analysoida lämpötilan muutoksen vaikutuksista. Lämpötilavaikutukset voidaan määrittää standardin EN 1991-1-5 mukaan ja kuormien yhdistelmät voidaan laskea standardin EN 1990 mukaisesti. Useimmissa tapauksissa kestävyys todetaan riittäväksi.

Laskelmien puuttuessa Pohjois-Euroopassa monikerroksisissa rakennuksissa yleinen käytäntö on, että liikuntasauvoja tarvitaan, kun rakennuksen pituus on yli 100 m yksinkertaisissa (jäykistetyissä) rungoissa ja 50 m jatkuvassa rakentamisessa. Lämpimämmässä ilmastossa yleinen käytäntö on rajoittaa pituus noin 80 metriin. Nämä suositukset koskevat vain teräsrunkoa – liikuntasaumat on asennettava jäykässä ulkoverhouksessa, kuten tiilimuurauksessa. Kun liikuntasaumat on asennettu, ne sijoitetaan yleensä rakennussuunnitelman merkittäviin muodonmuutoksiin, kerrosten lukumäärän muutoksiin tai erilliseen rakennusosaan eri perusteilla.

3.2 KUORMIEN YHDISTELMÄT

EN 1990 -standardin lausekkeessa 8.3.4 esitetään kuormien yhdistelmät tietyille raja-arvoille eri suunnittelutilanteita varten: pysyvä eli rakenteen lopullinen käyttö, ohimenevät, vahingossa tapahtuneet ja seismiset suunnittelutapaukset. Tässä osiossa keskitytään ensimmäiseen käyttökertaan, ja siksi vain peruskuormitusyhdistelmiä tarkastellaan. Lujuuden (STR) rajatilalle toimintojen yhdistelmät voidaan saada yhtälöstä 8.12 tai yhtälöistä 8.13 ja 8.14 standardissa EN 1090.

Kun rakenne suunnitellaan 100 vuoden käyttöikänsä, tavoiteluotettavuutta on lisättävä vastaamaan pidempää altistusaikaa. EN 1990 osoittaa luotettavuusindeksit luokkaa $\beta \approx 5.2$ 1 vuoden viitejaksolle ja $\beta \approx 4.3$ 50 vuodelle. Vaikka nämä β -arvot liittyvät usein seurausluokkaan 3 (CC3), CC2-rakenne, jolla on pidempi suunniteltu käyttöikä, voi saavuttaa vaaditun luotettavuuden ottamalla käyttöön alla kuvatut luotettavuuserotustoimenpiteet.

Vaihtoehto A: Osavarmuuskerrointen kohottaminen ($K_{FI} = 1.1$)

Standardin EN 1990 taulukossa A.1.9 sallitaan yleisen luotettavuuden erottelukertoimen K_{FI} käyttö. $K_{FI}=1.1$:n soveltaminen epäsuotuisien toimien osittaisiin tekijöihin perusyhdistelmissä nostaa luotettavuuden vaaditulle tasolle. K_{FI} :tä käytettäessä

kuormitusyhdistelmiä on arvioitava standardin EN 1990 8.3.4.2 kohdan 2 alakohdan yhtälöllä (8.12); yhtälöt (8.13) ja (8.14) heikentäisivät luotettavuutta. Normaali valvonta ja tarkastus (EXC2) voi riittää vain, jos riskinarviointi vahvistaa, että luotettavuustavoite on saavutettu. Muussa tapauksessa $K_{FI} = 1.1$:n käyttöön olisi liitettävä korkeampaa valvontaa (EXC3).

Peruskuormitusyhdistelmät saadaan sitten seuraavasta yleislausekkeesta, jossa "+" tarkoittaa "yhdistettävä":

$$\underbrace{\sum_{j \geq 1} 1.5G_{k,j}}_{\text{Unfavourable permanent actions}} + \underbrace{\sum_{h \geq 1} G_{k,h}}_{\text{Favourable permanent actions}} + 1.65Q_{k,1} + \sum_{i > 1} 1.65\psi_{0,i}Q_{k,i} \quad (3.11)$$

Vaihtoehto B: Korkeampi toteutusluokka ja laadunvalvonta

Vaihtoehtona on määrittää korkeampi toteutusluokka (esim. EXC3 tai EXC4) sekä tehostettu tarkastus ja huolto. Tämä lähestymistapa parantaa toteutunutta luotettavuutta muuttamatta kuormien laskennallisia arvoja. Standardin EN 1993-1-1 liitteessä A.5 määrätään kuitenkin, että korkeampaa suoritusluokkaa ei saa käyttää perustelemaan resistanssin osittaisia kertoimia.

Suunnittelu $K_{FI} = 1.1$:llä (tai EXC3:lla) tarjoaa lisäkapasiteettia, joka voi helpottaa rakenteen tulevaa siirtämistä tai uudelleenkäyttöä alueilla, joilla suunnitteluparametrit poikkeavat toisistaan. Alkuperäinen konservatiivisuus säilyttää siten CC2:n 50 vuoden luotettavuusvaatimusten noudattamisen myös kansallisten liitteiden parametrien merkittävien muutosten jälkeen.

Joko vahvistamalla osavarmuuskertoimia $K_{FI} = 1.1$:llä tai päivittämällä suoritusluokkaa voidaan saavuttaa luotettavuustavoitteet CC2-rakenteelle, jonka suunniteltu käyttöikä on 100 vuotta. Suunnittelijan on dokumentoitava valittu strategia, todennettava luotettavuusindeksi EN 1990 -yhtälön (8.12) avulla ja varmistettava, että valvonta- ja tarkastusjärjestelmät ovat oikeassa suhteessa hyväksytyihin luotettavuuden eriyttämistoimenpiteisiin.

Huom. Suomessa menettely B ei ole käytössä.

4 Uudelleenkäyttö suunnittelun ja parempien detaljien kautta

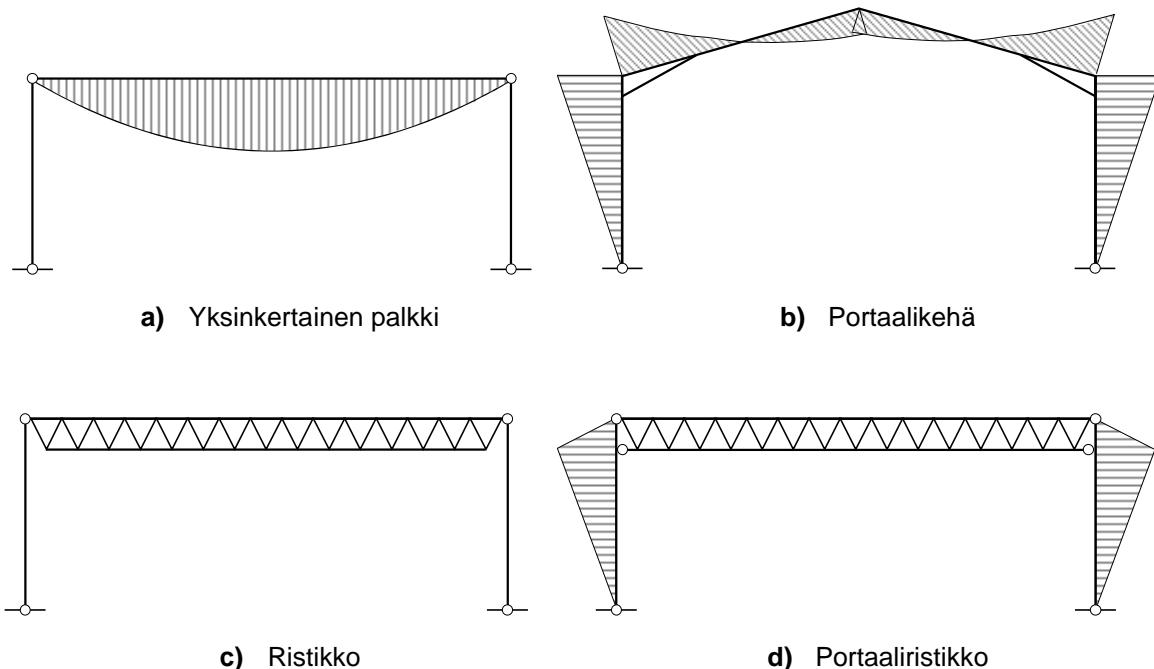
4.1 YSIKERROKSISTEN TERÄSRAKENNUSTEN RAKENNESUUNNITTELU

Jotta voidaan tutkia mahdollisuuksia helpottaa uudelleenkäyttöä suunnittelun avulla, kolme yksikerroksista muotoa on tunnistettava. Ne koostuvat palkeista (yksinkertaiset tai jatkuvarakenteiset kuumavalssatut palkit tai ristikkorakenteet) ja pilareista. Palkit, pilarit, liitokset ja pilariperustukset ovat rakennuksen rungon osia. Rakenneosien tai kokonaisten runkojen uudelleenkäyttöön sovelletaan yleisiä periaatteita, joita tarkastellaan jäljempänä.

Rakennuksen runko suunnitellaan ensin osakokonaisuutena liitosten ominaisuudet huomioiden. Uudelleenkäytön helpottamiseksi liitosten ominaisuudet tulisi määritellä selkeästi, ja yleisenä suosituksena olisi käyttää joko osittain jäykkiä tai jäykkiä liitoksia ensimmäisellä käyttökerralla, jos samoja osia käytetään kokonaisuudessaan toisella käyttökerralla.

Rakenneanalyysistä saadaan kunkin kuormitusyhdistelmän sisäiset voimat ja momentit, joita käytetään osien vastuksen ja vakauden todentamiseen sekundääriset huomioon ottaen. Käytönaikaisten kuormien osalta siirtymät lasketaan, jotta voidaan arvioida rakennejärjestelmän hyväksyttävyyttä sen vaikutuksen suhteen vaippaan, nosturikuormiin ja rakennuksen yleiseen käyttöön.

Rakenteelliset perusjärjestelmät on esitetty yksinkertaisin termein Kuva. 4.1.



Kuva. 4.1 Primäärirakenteiden konseptit ja taivutusmomenttikaaviot kimmo-plastisen analyysin jälkeen [29]

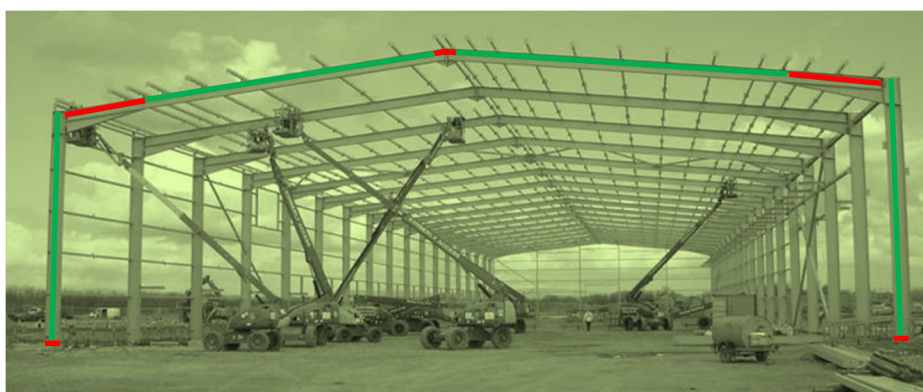
4.2 YKSIKERROKSISTEN TERÄSRAKENTEIDEN STANDARDOINTI

Kyky saavuttaa primäärirakenteen järkevä standardointitaso riippuu seuraavista seikoista:

- Rakennemuoto, koska portaalikehissä on kaltevat palkit ja ristikoissa on hyvin määritellyt ristikkomuodot,
- Rakenteen mittavaatimukset ja kehien etäisyys,
- Pilareiden korkeudet riippuvat tilan käyttötarkoituksesta ja välitasojen tarpeesta jne.,
- Rakenteeseen kohdistuva kuormitus, joka on todennäköisesti samanlainen yhdellä alueella ja rakennustyyppissä,
- Erilaisten rakenteellisten- ja sekundääristen komponenttien vähimmäiskäyttö tietyillä osien pituuksilla ja kuormituksella,
- Liitosten suunnittelu pulteilla ja näiden liitosten komponenttien standardointi,
- Päätykehien suunnittelu on samantyyppinen kuin sisäkehissä,
- Suunnittele ja detaljoi pilarit toimimaan seinä- sisäpuolisina pilareina mahdollisessa monikehäisessä portaalikehäskenaariossa,
- Räystäслиitoksissa on pyrittävä välttämään kulmatukien käyttöä; suositellaan ratkaisua yksinkertaisilla päätylevyillä, joissa on mahdollisia pulttilinjoja palkin ylä- ja alapuolella; Pidemmillä jänneväleillä on käytettävä kulmatukia lujuuden ja/tai liitosten jäykkyyden vuoksi. Suunnittelijan on pidettävä mielessä, että kulmatukien käyttöönotolla saavutetaan vain vähän vaikutusta suunnitteluun ja rungon yleiseen vakauteen.

4.2.1 UUELLEENKÄYTTÖMAHDOLLISUUDET PORTAALIRAKENTEISSA

Perinteinen portaalirunkojärjestelmä tarjoaa mahdollisuuden uudelleenkäyttää yksittäisiä komponentteja, koska useimmat primääriosat ovat pitkiä, ja jännevälin ja profiilin korkeuden suhde on 40-50 pilareille ja 50-65 palkeille (merkitty vihreällä Kuva. 4.2). Vihreällä merkityt voidaan erottaa kriittisemmistä vyöhykkeistä (merkitty punaisella tässä kuvassa) leikkaamalla uusien palkki ja pilarikokoonpanojen saamiseksi.



Kuva. 4.2 Uudelleenkäyttömahdollisuudet portaalikehyksessä

Portaalikehät on suositeltavaa suunnitella seuraaville standardoiduille mitoille:

- Jännevälin 3 m moduli. Tyypilliset jännevälit ovat 30 m, 36 m ja 42 m kuumavalssatuilla profiileilla,
- Katon kaltevuus 6° vaakatasoon nähden,

- Kehäväli 6 m tai 7,5 m, joista 7,5 m on suositeltava sekundäärisissä orsijärjestelmissä,
- Pilarit, joiden korkeus on vakiona 7,5 m (6 m voidaan käyttää alle 30 m portaalikehien jänneväleille ja 7,5 m pidemmille jänneväleille). Korkeus räystäslitoksen alapuolelle saa olla enintään 1 m pienempi kuin pilarin korkeus,
- Suunnittele pilarit välitasojen lisäkuormia varten 7,5 metrin ruudukolla, jonka lattiataso on 4 metriä pohjalaatan yläpuolella, mikä vaatii 7,5 m pitkiä pilareita; tämä varmistaa, että pilareita voidaan käyttää monipuolisesti tulevaisuudessa samoilla kehäväleillä,
- Räystään liitoksessa kulmatukien pituus on (10-12) % jännevälistä ja syvyys on kaksinkertainen kattorakenteen syvyyteen verrattuna. Vakiomitaksi suositellaan 10 %,
- Päätykehien tulee olla samantyyppiset kuin sisäkehät rakennuksen laajentamisen helpottamiseksi,
- Pilarin alapään liitos, jossa on 4 pulttia ja jota voidaan käsitellä nivellillisenä murtorajatilassa, mutta antaa jonkin verran vääntöjäykkyyttä taipuman laskemiseen,
- Jäykisteet putkiprofiileista, joiden tyypillinen poikkileikkaus (halkaisija/leveys) on halkaisijaltaan 130–200 mm ja joiden pituus on 3–12 m (7,5 metrin kehäväli); välttä "x"-jäykisteiden käyttöä; On suositeltavaa käyttää muutamia vahvempia osia, jotka voidaan ottaa talteen ilman muutoksia.

4.2.2 VAKIOPORTAALIKEHÄ HITSATUILLA RÄYSTÄS- JA HARJALIITOKSILLA

Edellisessä jaksossa esitettyjen ohjeiden mukaisesti portaalikehä voi koostua standardoiduista komponenteista, jotka helpottavat palkkien ja pilarien uudelleenkäyttöä joko samanlaisessa portaalikehässä tai yleisessä rakenteessa. Nämä komponentit näkyvät Kuva. 4.3 ja ovat:

- Räystäslitotos (2 kpl), joiden pituudet ovat $L_h \approx 0,1L - 0,12L$, jossa L on kehän kokonaisjänneväli,
- Harjaliitos (1 kpl), pituus $L_a \approx 0,1 l$,
- Palkit (2 kpl), joiden pituus on $L_b = 20h_b$, jossa h_b , on palkin korkeus,
- Pilarit (2 kpl), joiden kokonaispituus on $L_c = 20h_c$, jossa h_c on pilarin syvyys.

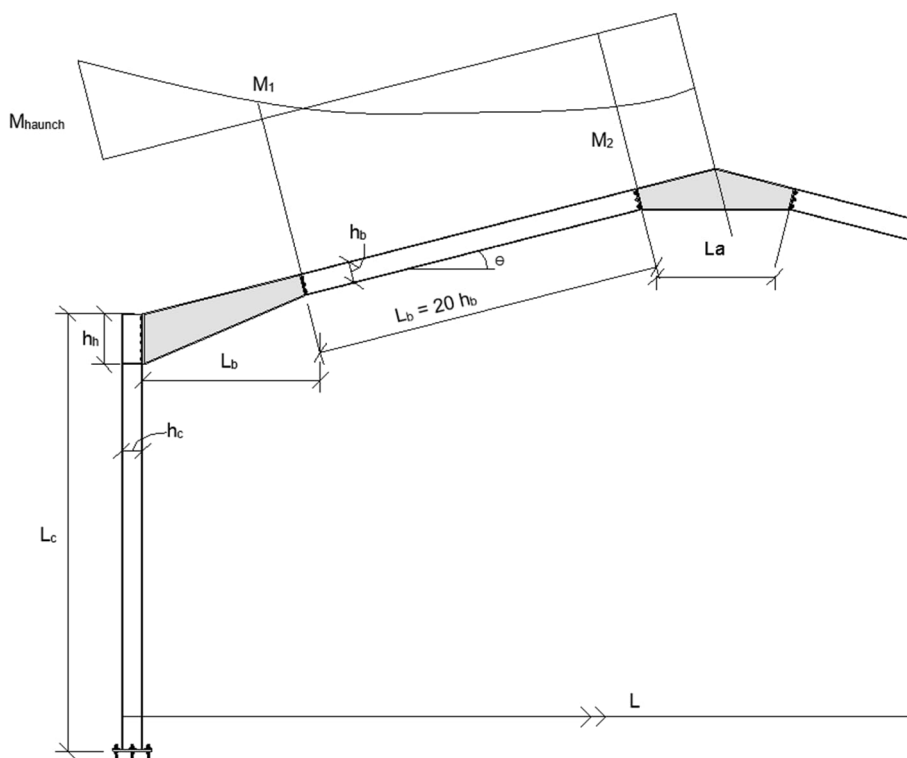
Portaalikehän kokonaisjänneväli saadaan seuraavasti:

$$L = 2 (L_b + L_h) \cos\theta + L_a \quad (4.1)$$

jossa θ on kattopalkin kaltevuus vaakatasoon nähden = 6° .

Räystäslitoksen korkeus, h_h , on $2h_b$. Se voidaan valmistaa teräslevyistä. Päätylevy liitoksessa on tyypillisesti 15 mm tai 20 mm paksu. Yhteensä 4×2 tai 6×2 M20 - M24 pulttia toimii vedolla liitoksen yläosassa ja 2×2 M20 - M24 pulttia toimii leikkauksessa liitoksen pohjassa.

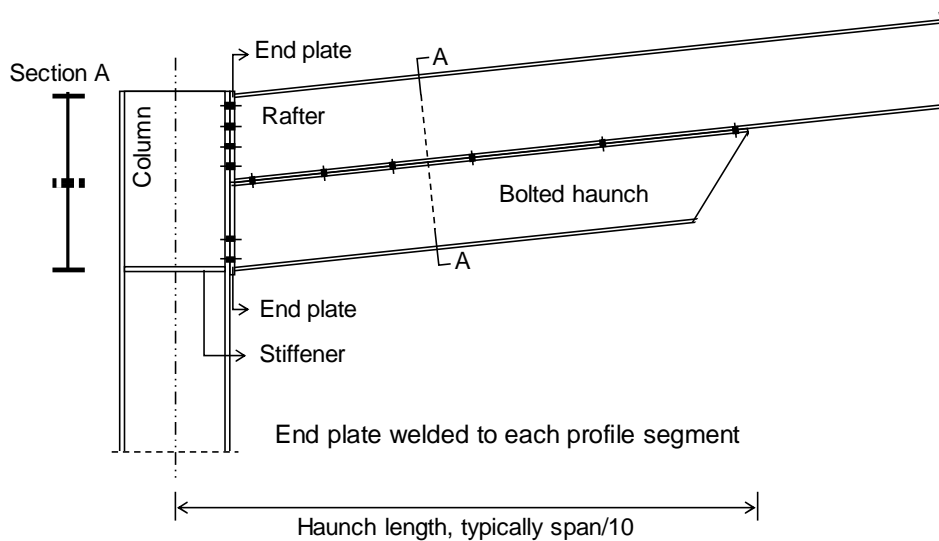
Harjan lähellä olevan taivutusmomenttikaavion muodon perusteella valmistetun harjaosan koko voidaan pienentää minimiin, jotta kattopalkkien väliset liitoksille on tilaa.



Kuva. 4.3 Uudelleenkäytettävät komponentit portaalikehässä

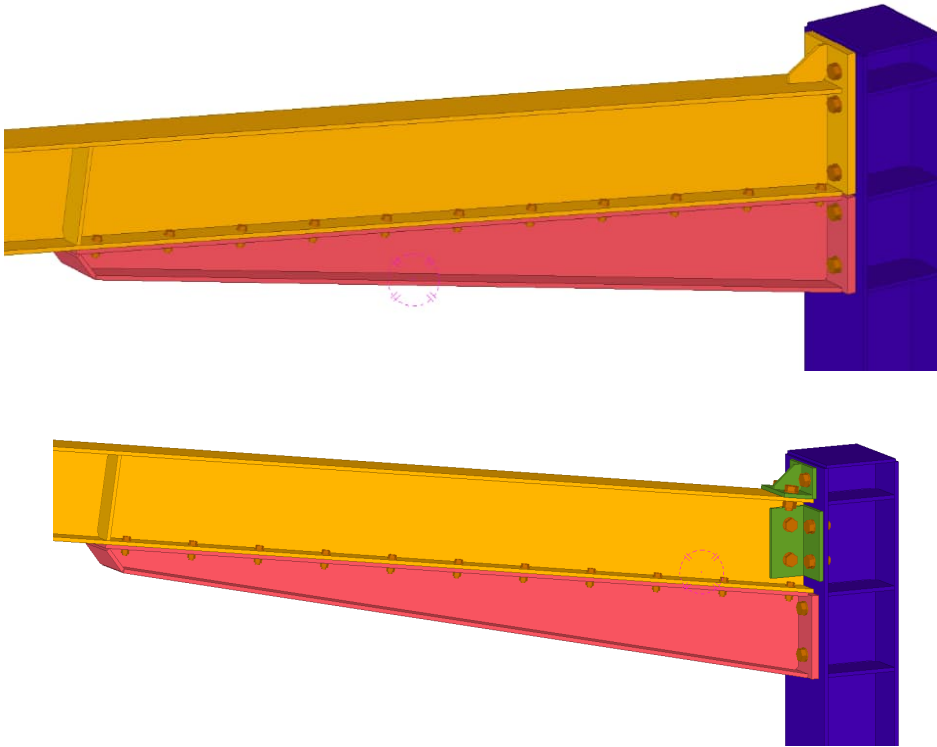
4.2.3 PORTAALIKEHÄ PULTATUILLA LIITOKSILLA

Muita mahdollisuuksia lisätä portaalikehän komponenttien uudelleenkäyttöä on esitetty Kuva. 4.4, jossa näkyy pultattu liitosdetalji. Tässä tapauksessa pultteja käytetään erillisen kulmatuen ja kattopalkin välissä. Samanlainen esimerkki tästä liitoksesta on esitetty Kuva. 4.5 profiililla, joka on kapeneva. Samaa järjestelmää voidaan käyttää harjaliitokseen Kuva. 4.6.

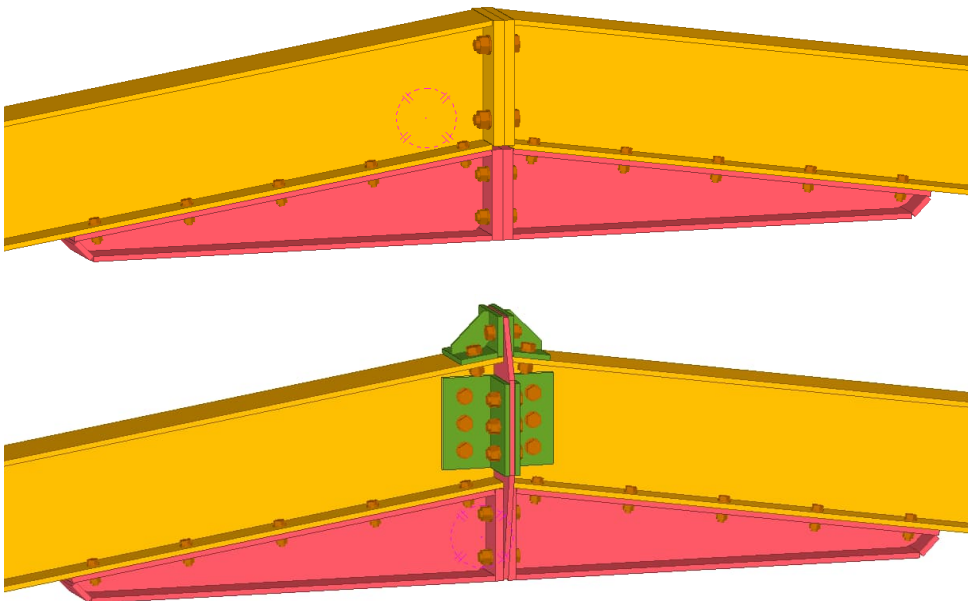


Kuva. 4.4 Pultattu räystääliitos

Sekä pultatussa kulmatuessa että kattopalkissa on yksittäin hitsatut päätylevyt, mikä mahdollistaa liitoksen runkoon. Kuva. 4.5 ja Kuva. 4.6 esittelee vaihtoehtoja räystäs- ja harjaliitoksille.



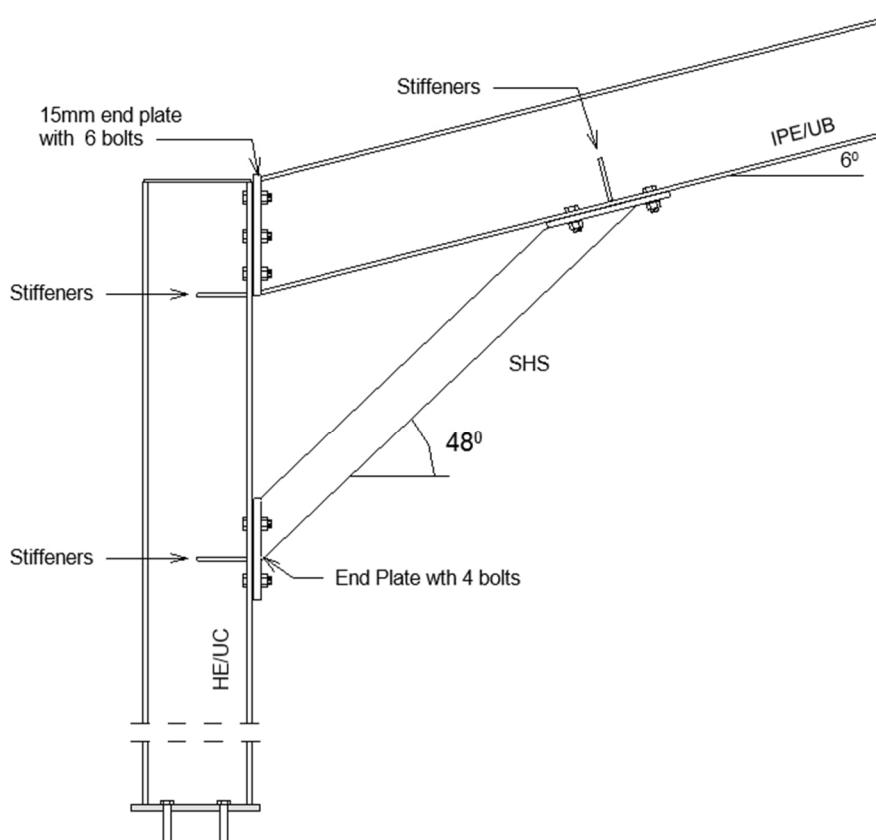
Kuva. 4.5 Pultattu kulmatuki portaalikehässä



Kuva. 4.6 Pulttatut harjaliitokset portaalikehässä

4.2.4 PORTAALIKEHÄ ERILLISELLÄ KULMATUELLA

Lyhyen ja keskipitkän jännevälän portaali-kehässä normaalikulmatuki voidaan korvata erillisellä tuella, jossa käytetään neliöputkiprofiilia (SHS), jossa on 4 pulttia kytkettynä kattopalkkiin ja pilarin laippaan (katso Kuva. 4.7). Nämä pultit toimivat leikkauksessa ja vedossa taivutusmomentin mukaan. Esimerkissä kalteva tuki on kulmassa $45+3 = 48^\circ$ vaakatasoon nähden siten, että tuen päissä on yksityiskohta samassa kulmassa kappaleen akseliin nähden. Tuki on yleensä SHS putkiprofiili, joka sijaitsee noin 1... 1,5 m liitoksen alapuolella, joten se voi häiritä tilan käyttöä. Pilarin ja palkin uumat on jäykistettävä uumajäykisteellä. Palkin koko pituuden uudelleenkäyttämiseksi on käytettävä pultattua päätylevyä, joka on yhteensopiva muihin tuotteisiin.



Kuva. 4.7 Erillinen tuki portaali-kehässä

Samantyyppistä tukea voidaan käyttää myös harjalla, mutta tässä tapauksessa tuki on vaakasuorassa. Se ottaa taipumaa vastaan huonommin kuin räystäällä pienemmän kaltevuuden vuoksi.

4.3 PILARIN LIITOS PERUSTUKSIIN

Perustuksiin on olemassa kolme yleistä liitosmuotoa, joita voidaan harkita rakenteen mittakaavan mukaan, eli:

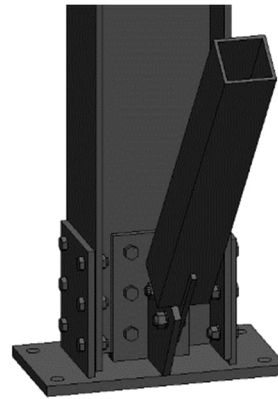
- Nivelelliset liitokset pultatuilla kulmilla suhteellisen yksinkertaisiin ja lyhyen jännevälän portaali-kehiin. Esimerkki on esitetty Kuva. 4.8a. Injektionin helpottamiseksi ehdotettu ratkaisu voidaan pultata pohjalevyyn,

- Liitokset, joissa on jonkin verran taivutusjäykkyyttä, mutta joita tavallisesti käsitellään jäykkinä, ellei päätylevy ulotu pylvään ulkopuolelle. Ylimääräisten hitsattujen jäykisteiden käyttöä ei suositella pylväiden uudelleenkäytön helpottamiseksi),
- Pilarikenkä, joka on pultattu pilariin kuten Kuva. 4.8b. Tämä liitos siirtää korkeankin momenttia perustukseen. Pilarikenkä on esivalmistettu tiettyä pilarikokoa varten. Siihen voidaan myös yhdistää pulttiliitoksella jäykiste, kuten kuvassa esitetään.



a) Kiinnitetty

Kuva. 4.8



b) Kiinteä

Esimerkkejä irrotettavista pilariliitoksista

On myös tunnustettu, että pilarien jalustaan on päästävä käsiksi, jotta ne voidaan irrottaa helposti vahingoittumatta ja ilman suuria purkutöitä. Esimerkki yksityiskohdasta, jolla saavutettavuus saavutetaan, on esitetty Kuva. 4.9.

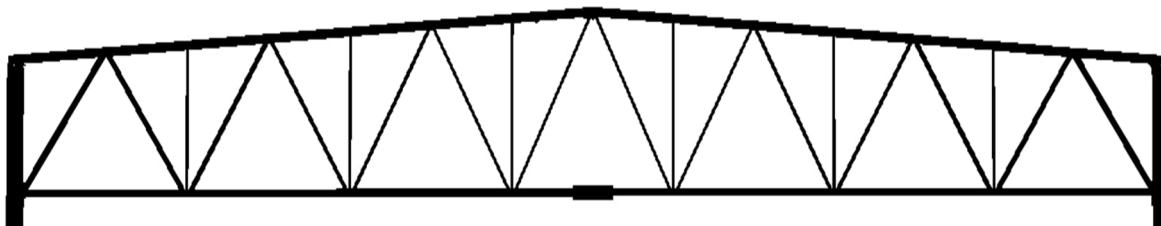


Kuva. 4.9 Esimerkki esteettömästä tukiasemayhteydestä [30]

4.4 UDELLEENKÄYTETTÄVÄT RISTIKKORATKAISUT

Hitsattujen teräsristikoiden uudelleenkäytettävyys on periaatteessa hyvä, koska ristikot liitetään pulttiliitoksilla pilareihin. Ristikot ovat vahvoja taivutusakselilla ja ne on helppo purkaa osiin. Hitsatut ristikot suunnitellaan ja valmistetaan erityisten jänne- ja kuormitusvaatimusten mukaan, ja ristikon jänneväliin on vaikea tehdä muutoksia.

Tyypillinen ristikkokokoonpano näkyy kuvassa Kuva. 4.10. Se valmistetaan yleensä kahdessa osassa ja ristikot on yhdistetty harjalla ja alapaarre holkkiliitoksella. Nämä liitokset toimivat vedossa tai puristuksessa kuormituksen suunnasta riippuen. Liitos pilariin voi olla joko nivelellinen tai jäykkä (Kuva. 4.10 ristikko toimii jäykkänä kiinnitettynä pilariin, kun taas Kuva. 4.11 liitos nivelellinen).



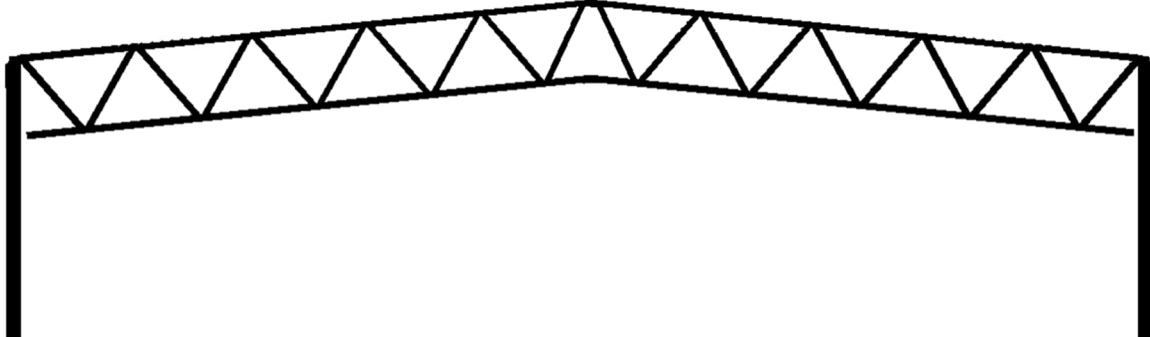
Kuva. 4.10 Tyypillinen ristikko, jossa katon kaltevuus on 1:20 (~3°) [31]

Ristikoiden uudelleenkäyttöä ohjaavat periaatteet ovat seuraavat.

- Ristikoita olisi harkittava yli 30 metrin jännevälille, ja niitä suositellaan silloin, kun ristikkoon kohdistuu lisäkuormituksia, mukaan lukien ripustuskuormat kuten kulkutiet.
- Ristikoiden jänneväli:korkeussuhteen tulee olla noin 20, joten ristikko voi olla 2 metriä korkea harjalla 40 metrin jännevälillä. Siksi uudelleenkäytön standardiksi voidaan käyttää jänneväli:korkeussuhdetta 20, ja sen voidaan odottaa olevan erittäin taivutusjäykkä,
- Korkeampien valmistuskustannusten vuoksi ristikoiden kehävälän tulisi olla 7,5 - 9 m riippuen sekundääriosien tarpeesta,
- Ristikko tulee valmistaa rakenteellisista putkiprofiileista (SHS, RHS) ottamaan vastaan isoja aksiaalisia voimia taivuttamatta profiileita,
- Ristikoita, joiden jänneväli on yli 50 m, ei voida toimittaa kahdessa yhtä suuressa osassa, joten väliliitoksia tarvitaan. Näiden liitosten tulee olla ristikon neljännesjänteellä,
- Ristikon osat valitaan yleensä siten, että ne ovat vakaita puristuksessa omalla painollaan, kun niitä nostetaan kahdesta pisteestä oletetussa 45°:n kulmassa. 20 metrin pituisessa ristikossa, jonka nostopisteet ovat 12 metrin etäisyydellä toisistaan, poikittaissuuntainen hoikkuus ei saisi ylittää 200:aa, jolloin vähimmäisleveys olisi oltava 150 mm (eli 150×150 SHS tai 150×100 RHS),
- Yläpaarre on suhteellisen vakaa puristuksessa, jos käytetään katto-orsia, mutta alapaarre on yleensä vakautettava keskijänteellä, jos katolla on imukuormia tuulesta. Tämä voidaan tehdä vinotuella harjalla,
- Ristikot voidaan suunnitella siirtämään merkittäviä taivutusmomenteja pilareihin puristus-veto-periaatteella, joten ristikot kestävät tehokkaasti vaakasuuntaisia voimia edellyttäen, että alapaarre stabiloidaan poikittaissuunnassa.

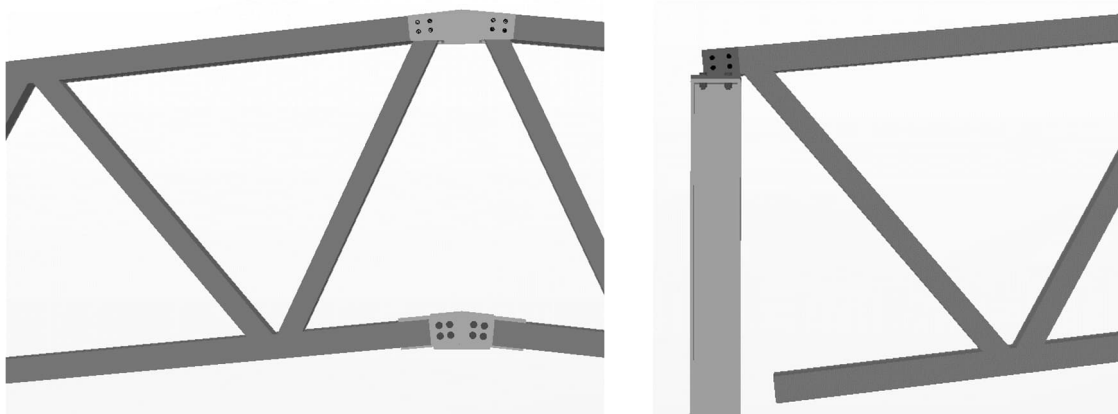
Yksi vaihtoehto hitsattujen ristikoiden uudelleenkäytettävyyden parantamiseksi on muuttaa tyypillistä ristikkokokoonpanoa siten, että ristikko toimitetaan aina kahdessa osassa, joiden korkeus on yhtenäinen ja jossa on yhdensuuntaiset ylä- ja alapaarteet, kuten Kuva. 4.11 on esitetty. Järjestelmän tulee mahdollistaa kattoristikon asentamisen eri kaltevuuksille ja siten mahdollistaa vaihtelu ristikon jännevälissä. Ristikon puoliskot on yhdistetty keskeltä

liitososilla, jotka sopivat erilaisiin katon kaltevuuteen välillä 3° - 10° . Liitokset ovat pulttiliitoksia, jotka toimivat leikkauksessa, ja ne on esitetty Kuva. 4.12.



Kuva. 4.11 Ristikkojärjestelmä parantaa uudelleenkäytettävyyttä [31]

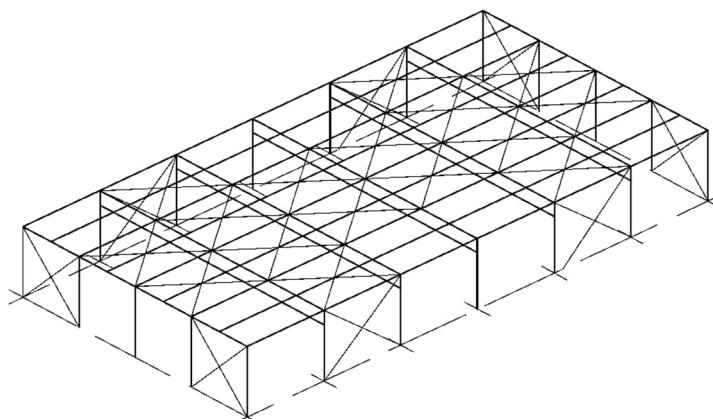
Jotta näiden ristikoiden kuormien siirto pilareille toimisi, liitoskappaleita on käytettävä alapaarteen päissä ja pilarin uumassa.



Kuva. 4.12 Liitokset, jotka mahdollistavat ristikon asennuksen eri kaltevuuksiin [31]

4.5 JÄYKISTETYT LAATIKKOTYYPPISET RAKENTEET

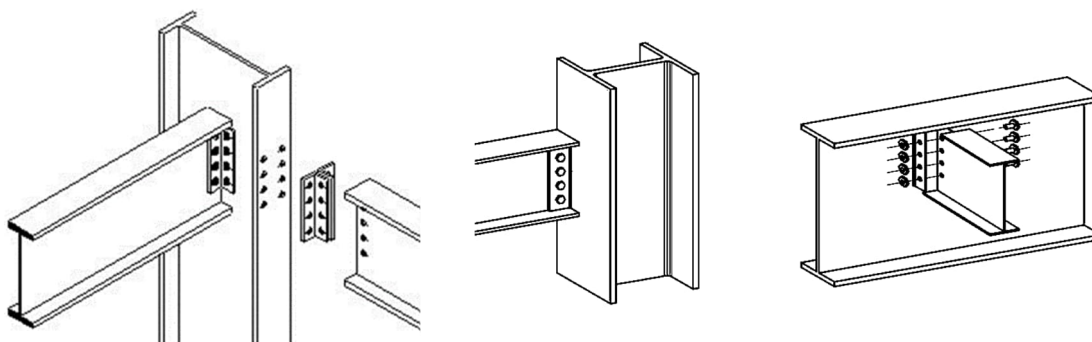
Jäykistetyt laatikkotyypiset rakenteet tarjoavat hyvät mahdollisuudet uudelleenkäyttöön, koska rakenneosat ovat helposti standardoitavissa. Kaikki osien väliset liitokset voivat olla nivelellisiä, mikä vaatii yksinkertaisia yksityiskohtia ja vähimmäismäärän pultteja. Ratkaisu vaatii rakennuksen pituussuunnassa olevan jäykistysjärjestelmän sekä kattoristikot, joita tukevat jäykistetyt päätykehät, jotka antavat stabiiliteettia rungolle vaakasuunnassa (katso Kuva. 4.13). Tätä käsitettä käytetään laajalti väliaikaisissa rakennuksissa, ja sitä voidaan harkita yksikerroksisissa rakennuksissa, joissa on lyhyt jänneväli.



Kuva. 4.13 Esimerkkejä jäykistetyistä laatikkotyypisistä rakenteista

4.6 VÄLITASOT

On suositeltavaa, että välitasot perustuvat pilarijakoon, jonka kerrannaiset ovat 1,5 m ja tyypillisesti 6 m. Ehdotus on, että välitason korkeusasema pohjalaatasta on 4 m käytettäessä räystään korkeutta 7,5 m. Välitasolla tulee käyttää nivelellisiä liitoksia kulmakappaleineen, (katso Kuva. 4.14a). Saman poikkileikkauksen omaavilla osilla tulee olla samat detaljit. Kun palkkeja liitetään pilariin, kulmakappaleiliitokset eivät välttämättä ole mahdollisia. Tällaisissa tapauksissa voidaan käyttää Kuva. 4.14b mukaista detaljia. Yleinen suositus on, että hitsausta lattiapalkkeihin ei saa käyttää. Jos käytetään putkiprofiilipilareita, suositellaan Hollo-Bolt- tai Blind-Bolt-ratkaisuja (katso Kuva. 4.15).



a) Liitos kulmakappaleilla

b) Fin plate liitos

Kuva. 4.14 Suositellut liitännät parvilattiapalkkeihin



a) Hollo-Bolt

b) Blind-Bolt

Kuva. 4.15 Hollo-Bolt- ja Bild Bolt -ratkaisut [32]

Vaihtoehto näille liitoksille on Kuva. 4.16, mikä voi nopeuttaa asennus- ja purkuprosesseja. Ohjeita tästä konseptista löytyy viitteestä [33].

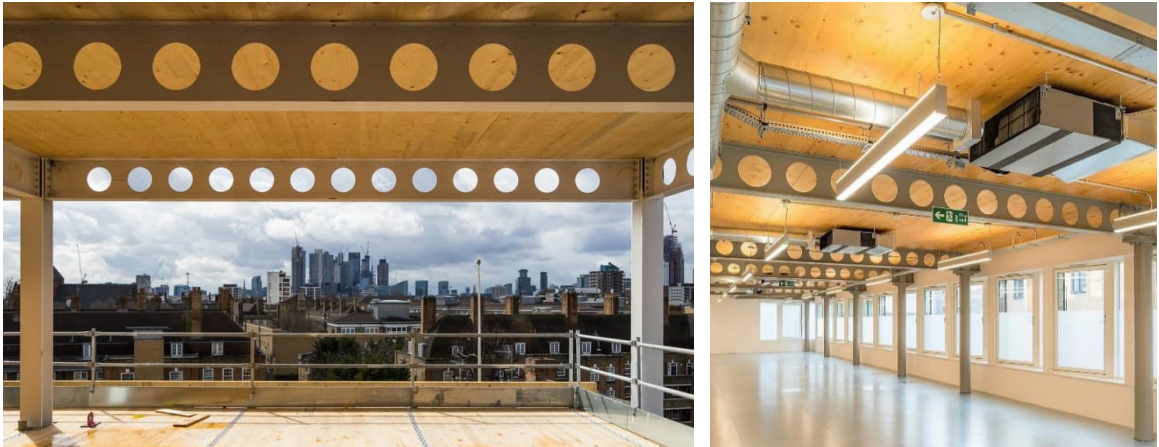


Kuva. 4.16 Quicon-liitokset [34]

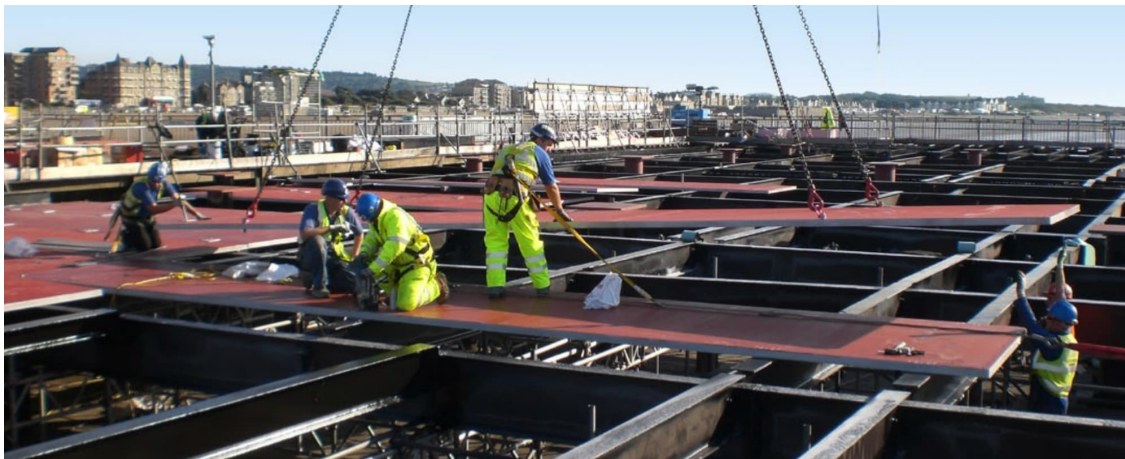
Yksi kriittisistä yksityiskohdista, joka estää välitasojen uudelleenkäytettävyyden, on laatan ja palkkien välinen pysyvä liitos, kuten perinteinen ratkaisu komposiittilattialla, jossa on hitsatut pultit. Lattiapalkkien uudelleenkäytettävyyden lisäämiseksi kannustetaan käyttämään irrotettavia lattiavaihtoehtoja, kuten Kuva. 4.17 ja Kuva. 4.20. Kuvassa ehdotettu irrotettava komposiittilattiaratkaisu Kuva. 4.20 mahdollistaa purettavuuden sekä suuremman jäykkyyden ja kestävyuden, jonka tulee teräspalkin ja teräslevyn päällä olevan betonipäällysteen välisestä liittovaikutuksesta. Tällaisten järjestelmien analysointia ja suunnittelua koskevia ohjeita löytyy lähteestä [35].



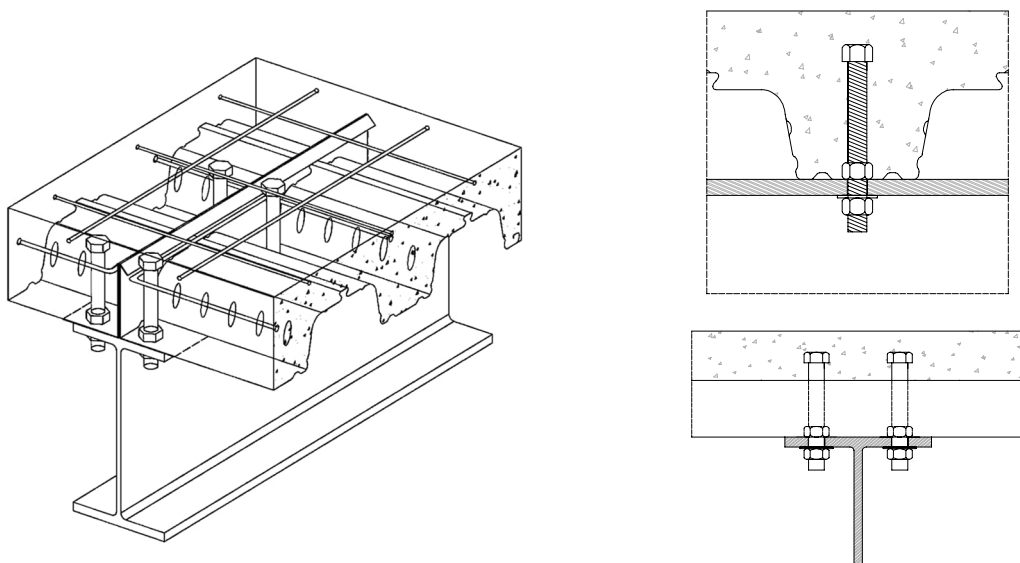
Kuva. 4.17 Purettavissa oleva esivalmistettu lattiajärjestelmä [29]



Kuva. 4.18 Purettava lattiajärjestelmä CLT:stä [36]



Kuva. 4.19 purettava lattiajärjestelmä SPS-paneeleista – kaksi teräslevyä polymeeriytimellä [37]



Kuva. 4.20 Purettava liittolaatta, jossa on leikkauslinja, joka mahdollistaa laattojen uudelleenkäytön [35]

4.7 SEKUNDÄÄRISET TERÄSRAKENTEET JA VAIPPA

Sekundäärinen teräsrakenne ja rakennuksen vaippa ovat kaksi kriittisintä rakenneosaa uudelleenkäytettävässä yksikerroksisessa rakennuksessa. Tämä liittyy huomattavaan määrään liitoksia ja kiinnityksiä, joita käytetään primääri- ja sekundäärirakenteissa sekä myös julkisivussa. Toisen rakenteen näistä kahdesta poistaminen helpottaa purkamis- ja uudelleenkäyttöprosessia. Siksi on suositeltavaa käyttää mahdollisuuksien mukaan pitkän jännevälin katto- ja julkisivujärjestelmiä, joilla vältetään sekundääristen teräsrakenteiden asentaminen paikan päällä. Tapauksissa, joissa käytetään sekundäärisiä rakenteita, osien lukumäärä olisi vähennettävä minimiin, mikä osaltaan vähentää näiden liitoksia.

4.7.1 SEKUNDÄÄRINEN TERÄSRAKENNE

Sekundääriset ovat tyypillisesti kattojen Z-profiilin orsia ja seinien C-orsia. Z-profiilit suunnitellaan usein limityksillä tukien päällä jatkuvuuden hyödyntämiseksi, ja orret on pultattu kulmakappaleiden avulla palkkien ylälaippaan. Kattopalkkien uudelleenkäytön helpottamiseksi nämä kiinnikkeet tulee pultata 2 pultilla vähintään 1,8 metrin k/k väleillä kattopalkkiin (siksi suositellaan vähintään 1,8 metrin orsijakoa). 7,5 metrin jännevälinä orret ovat usein 250 mm korkeita.

Monissa maissa rullamuovattuja kasettijärjestelmiä käytetään vaihtoehtona C-orsille, koska ne samalla tukevat julkisivuverhousta ja lämmöneristeitä. Kasetit toimivat parhaiten 6 metrin pilarijaolla.

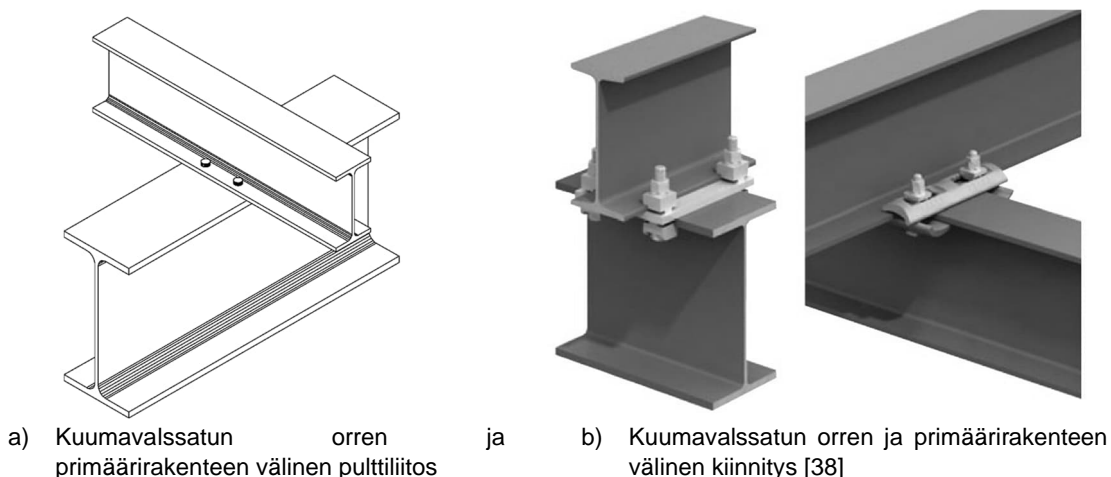
Omega-muotoisia orsia tulee harkita uudelleenkäyttöön, koska ne eivät vaadi ylimääräisiä kiinnikkeitä, koska ne ruuvataan suoraan kattopalkkeihin. Ne eivät kuitenkaan yleensä sovellu pitkän jännevälin sovelluksiin (jännevälit > 6 m), ellei käytetä holkkeja tai limityksiä.

Harjasiteitä tulee välttää niin paljon kuin mahdollista, koska ne vaativat huomattavasti enemmän työtä työmaalla. Sekundäärirakenteisiin joudutaan poraama reikiä, jotka voivat vaikuttaa uudelleenkäytävyyteen. Tämä voi johtaa raskaampaan ratkaisuun, vaikka asennus on nopeampaa. Seinäorsissa on myös samanlaisia siteitä, jotka pitävät ne paikoillaan, kun julkisivua asennetaan. Asianmukaisella analyysillä ja suunnittelulla nämä siteet voidaan myös välttää.

4.7.2 VAIHTOEHTOISET JÄRJESTELMÄT SEKUNDÄÄRISESSÄ TERÄSRAKENTEESSA

Sekundääristen teräsrakenteiden yleinen ratkaisu perustuu kylmämuovattuihin katto- ja seinäorsiin, jotka tarjoavat tyypillisesti taloudellisen ratkaisun 1,8–2 metrin orsijaolla. Vaihtoehtoinen toimenpide liitosten vähentämiseksi olisi käyttää suurempaa orsijakoa (esim. k/k 3,5–4 m). Tämä vaatii vahvempia ja jäykempiä orsia, jotka voivat olla putkiprofiileja (tyypillisesti suorakaiteen muotoisia). Myös kuumavalssattuja profiileita voidaan käyttää. Sekundäärirakenteiden jatkuvuuden etu voidaan saavuttaa käyttämällä *Gerber* järjestelmää. Tässä jatkuvassa järjestelmässä tuen molemmilla puolilla taivutusmomentti on nolla ja liitokset on helpompi toteuttaa pulttaamalla orret suoraan

primääritukiin (Kuva. 4.21a). Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää puristusliitoksia ratkaisua, koska sen avulla vältetään reikien poraaminen palkkeihin (Kuva. 4.21b).



Kuva. 4.21 Kuumavalssattujen orsien ja primääriteräksien väliset liitokset

4.7.3 JULKISIVUT

Julkisivujärjestelmät kiinnitetään yleensä itseporautuvilla- ja kierteittäville ruuveilla, mikä vaikuttaa julkisivuverhouksen uudelleenkäytettävyyteen. Verhouksen ja sekundäärisen teräsrakenteen välisten kiinnitysten lisäksi verhouksiprofiileissa tarvitaan ruuveja, mikä lisää purkamistyötä. Nämä kiinnikkeet ruuvataan profiiliin ylälaippaan veden pääsyn estämiseksi. Listojen tarve lisää järjestelmän monimutkaisuutta sekä tarvittavien kiinnikkeiden määrää. Näistä esimerkkeinä ovat sivu- ja päätyräystäiden sekä harjaliitosten detaljit tai seinien liittymät.

Uudelleenkäytettävämmän ulkoverhousjärjestelmän keskeinen näkökohta liittyy julkisivun rakenteissa käytettävien kiinnikkeiden määrään ja tyyppiin. Ruuviliitoksia suositellaan kaikkiin julkisivutöihin, mukaan lukien listat. Ruuvien paikat olisi hyvä piilottaa saumoihin.

Standardoiduilla katon kaltevuuksilla voi olla mahdollista kehittää räystäälle, reunanostoille, ja harjalle vakiodetaljeja mahdollisimman vähillä ruuviliitoksilla, mikä voisi vähentää työaikaa asentamiseen ja purkamiseen.

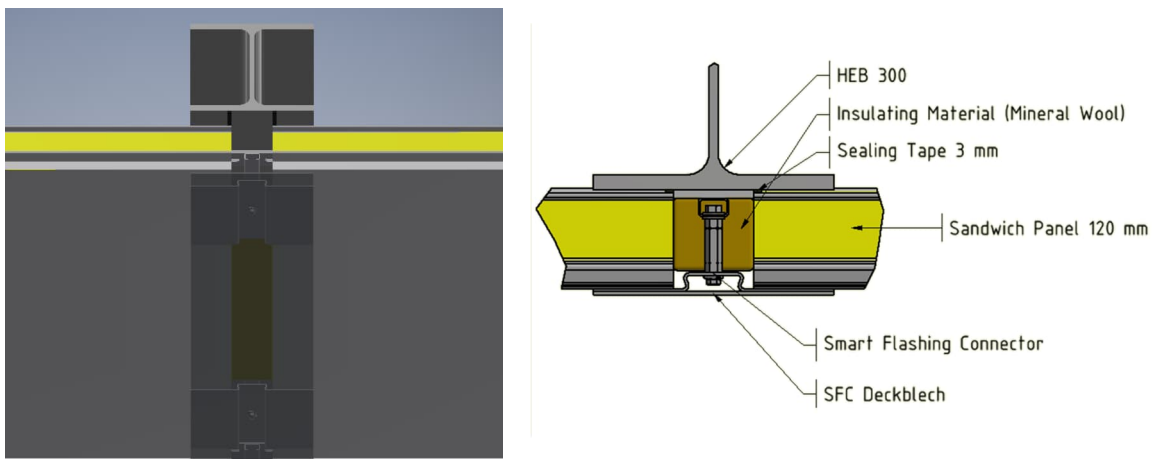
Kuten edellä todettiin, pitkien jänneväliden julkisivujärjestelmien käyttöä suositellaan, koska katto- ja seinäorsia ei tarvita. Rakennekerrosten pienentämisellä saavutettaisiin merkittävä vähennys liitosten määrässä, mikä voisi mahdollistaa verhousjärjestelmän uudelleenkäytettävyyden lisäämisen.

Yksi mahdollinen toimenpide yksikerroksisten rakennusten nykyisten käytäntöjen tehostamiseksi uudelleenkäyttöä varten on parantaa julkisivujärjestelmien kiinnityksiä toissijaiseen teräsrakenteeseen. Sandwich-paneelissa tai kattokaseteissa voisi olla valmiiksi asennetut kiskot, joihin ulkoverhous voidaan kiinnittää. Tällaisella järjestelmällä liitosten määrä voitaisiin kuitenkin vähentää minimiin, mikä lisäisi sekundäärisen teräsrakenteen ja verhouksen mahdollista uudelleenkäytettävyyttä.

Selkeä kiinnostuksen kohde on tutkia uusia pitkän jännevälin katto- ja seinäpaneliratkaisuja (jännevälit 6-10 m). Jos kehitetään sopiva järjestelmä nämä elementit voidaan helposti purkaa ja käyttää uudelleen (katso kohta 4.7.5).

Yleisin käytäntö pitkän jännevälin kantavissa profiileissa (jänneväli 6–8 m) perustuu syvään profiililevyyn (Kuva. 4.23) tai paksuihin sandwich-paneeliin katoilla (Kuva. 4.24 ja Kuva. 4.25) sekä vaakaan asennettuihin sandwich-paneeliin seinissä (Kuva. 4.22). Tällaiset ratkaisut ovat yleisesti käytössä Suomessa ja Ruotsissa, joissa lämmöneristysvaatimukset edellyttävät yleensä paksuja ja rakenteellisesti vahvoja paneeleja, jotka mahdollistavat vaakasuoran asennuksen primäärirakenteeseen.

Mahdollinen ratkaisu seinä-sandwich-paneeleille, joissa on kiinnitetyt liitokset, on esitetty Kuva. 4.22.



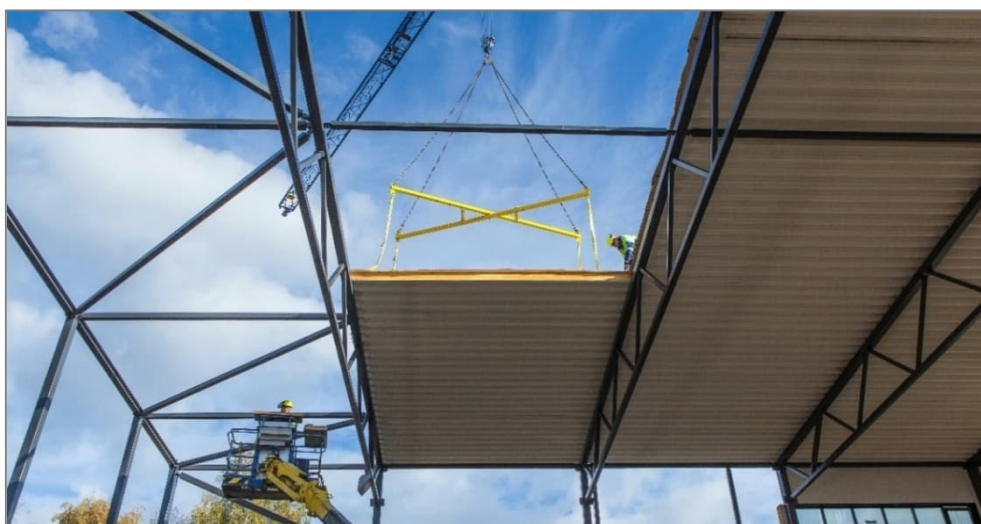
Kuva. 4.22 Kkiinnitysjärjestelmä pitkän jännevälin seinäverhoukseen



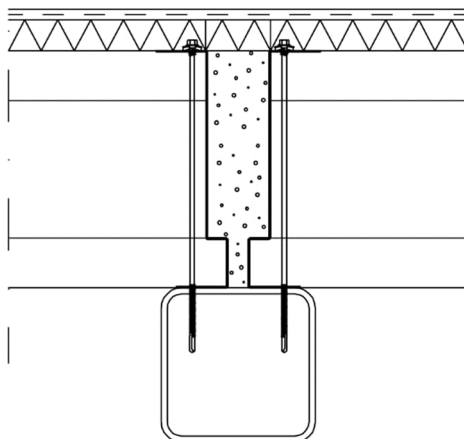
Kuva. 4.23 Esimerkki kattojärjestelmästä, jossa on kantava profiili [31]

Kantavan profiilin käyttö soveltuu ehdotetuille vakiokaton kaltevuuksille 3° ja 6°, kuumavalssatuille palkeille tai ristikoille. Katto koostuu paikallarakennetusta ratkaisusta,

joka koostuu tyypillisesti kantavasta profiilista, höyrysulusta, eristekerroksesta (mineraalivilla tai PIR) ja vesikatteesta (PVC tai bitumi). Kantava profiili toimii jatkuvana rakenteena kiinnitettynä primäärirakenteeseen. Tyypillinen limityspituus on $0,10 \times$ jänneväli. Vaihtoehtona voidaan käyttää *Gerber-järjestelmän* periaatteita, jossa limityspituus on yleisesti 150 mm. Profiilin tukipiannaksi suositellaan vähintään 150 mm:n ylälaipan leveyttä.



Kuva. 4.24 Esimerkki kattojärjestelmästä, jossa on pitkän jännevälin kattopanelit [31]

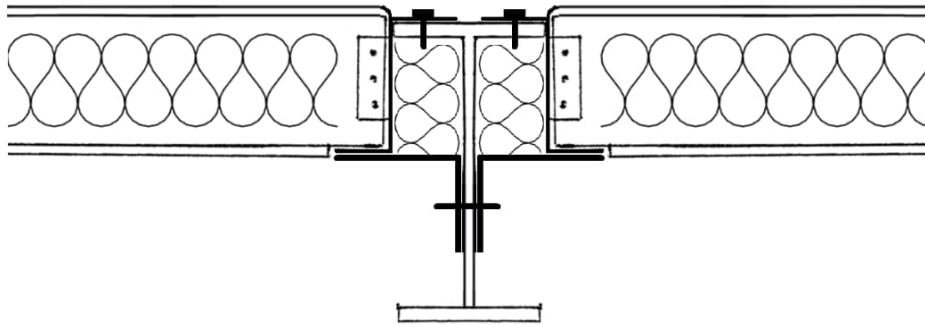


Kuva. 4.25 Pitkän jännevälin kattopanelien ja primäärirakenteen välinen liitos [31]

4.7.4 ESIVALMISTETTUIEN KYLMÄMUOVATTUIEN TERÄSKASETTIEN KÄYTTÖ PORTAALIKEHILLÄ

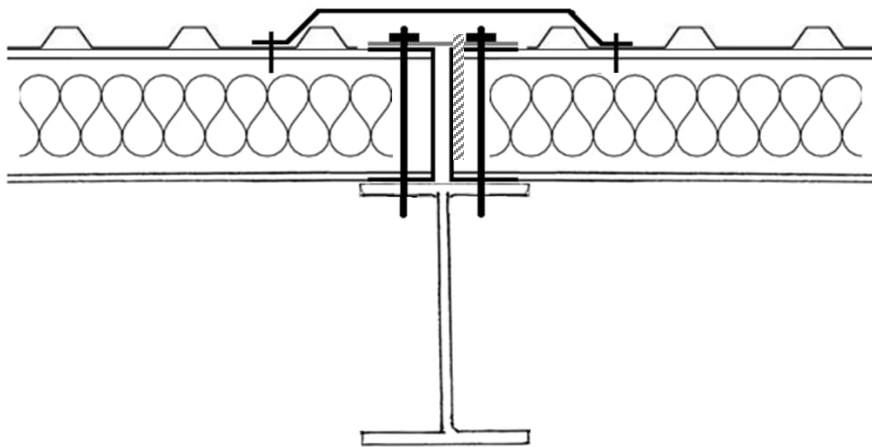
Esivalmistettuja kasetteja käytetään Euroopassa usein asuinrakennusten lattioissa välipohjissa ja katoissa. Kasetit koostuvat kylmämuovatuista C-kaseteista, jonka pystylaipat ovat Z- tai U-mallisia. Lattioissa ja välipohjissa yksittäisten C-kasettien leveys on 400 tai 600 mm ja esivalmistettujen kasettielementtien enimmäisleveys on 2,4 m, jotta ne soveltuvat kuljetukseen ja mekaaniseen nostoon.

Samaa kasettimuotoa voidaan käyttää myös katoille (joihin pääsee vain huolto varten) ja portaali-kehien seiniin, joiden jänneväli on 6–7,5 m. Kasetti voidaan kiinnittää kattopalkin ylälaippaan Z-osalla, kuten kuvassa on esitetty. Kuva. 4.26.



Kuva. 4.26 Esivalmistetun eristetyn katto- tai lattiakasetin käyttö [5]

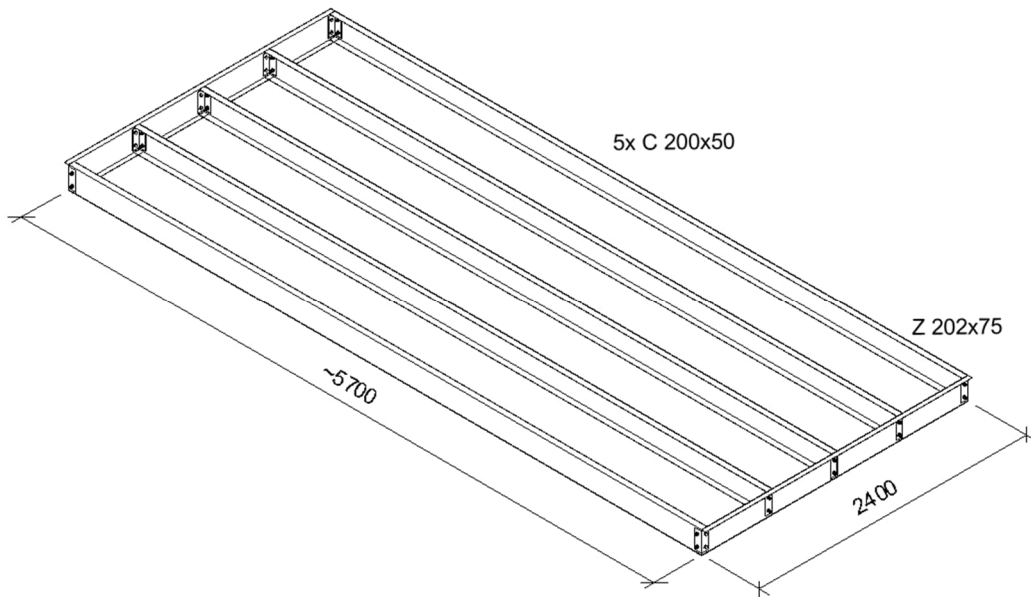
Vaihtoehtona olisi sijoittaa kasetti laipan päälle, jolloin sen päissä käytetään U-osia (Kuva. 4.27 ja Kuva. 4.28). Kasettien väliin voidaan jättää rako asennuksen helpottamiseksi, joka voidaan myöhemmin täyttää ohuella eristekerroksella. Tukipinnan vähimmäisleveys on 150 mm. Kasetin kiinnittämiseen primäärirakenteeseen käytetään itseporautuvia ruuveja, joissa on tiivistealuslevyt. Ratkaisu soveltuu myös putkiprofiiliritistikoille.



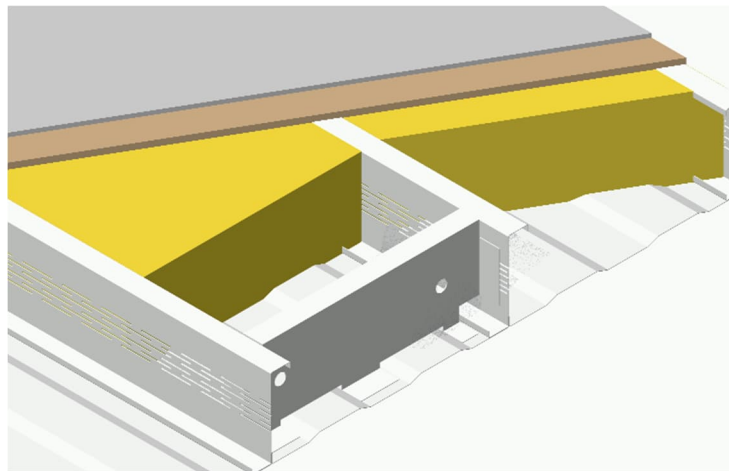
Kuva. 4.27 Esivalmistettujen eristettyjen kattokasettien käyttö tuettuna ylälaippaan

Enintään 1 kN/m² lumikuormalle soveltuvat 200 mm syvät C-profiilit 6 metrin jännevälille ja 250 mm C-profiilit 7,5 metrin jännevälille. Kasetti on valmiiksi levytetty ja eristetty, mikä suojaa säältä rakentamisen aikana.

Tyypillisen kattokasetin yksityiskohdat on esitetty Kuva. 4.28 ja Kuva. 4.29. Toleranssien huomioon ottamiseksi Z-osan tulee olla 75 mm leveä ja ainevahvuus 2–3 mm ja se on sijoitettava siten, että se mahdollistaa tasaisen alustan kasetin yläpinnan kanssa. C-profiilit ovat ainevahvuudeltaan 1,2–2 mm, ja ne on sijoitettu k/k 600–900 mm kuormista ja jännevälistä riippuen. C-orret voivat olla termo-orisia, jotka parantavat järjestelmän lämmöneristystä (pienentää lämpöhäviötä kylmäsiltojen kautta 70–80 % - Kuva. 4.29) [31].



Kuva. 4.28 Kevyt esivalmistettu teräskasettielementti, jota käytetään kattorakenteissa 6 metrin kehävälille (vähennettynä palkin leveydellä 300 mm)



Kuva. 4.29 Kevyt esivalmistettu teräskasetti termorei'ityksellä [31]

C-orsissa on 3 ruuvilla kiinnitetyt liitokset reunaorsiin. Mahdolliset ulkonevat ruuvien päät katkaistaan, jotta kasetin sijoittaminen palkille mahdollistuu. Joissakin kasettijärjestelmissä kiinnikkeinä käytetään nittejä. Kaikki kasettien ja listojen väliset liitokset on tehtävä ruuveilla.

Rakennus- tai OSB-levyjä voidaan käyttää eristekerroksen päällä. Levyjen tulee olla kosteudenkestäviä, jos kasetti jätetään näkyviin ennen vesieristyksen kiinnittämistä. Alapuolen pinta jää näkyviin. Palonsuojalevyt antavat passiivisen palonkestävän järjestelmän C-orsille ja palkeille.

Tämä esivalmistettu järjestelmä on säänkestävä lämmöneristetty rakennuksen vaippa. Mineraalivillaeristeellä varustetun kasetin U-arvo on 0,15 W/m²K. Rakennuksen tilavuus

pienenenee ripustettujen lattia-/kattokasettien ja kattojen yläpuolella olevien orsien puuttumisen vuoksi. Tämä antaa kustannussäästöjä verhoujärjestelmälle.

Kasettielementtiin kiinnitetyt levyt ja palkkeihin kiinnitetyt ruuvit toimivat myös levyvaikutuksena. Tukisiteitä voidaan käyttää yhdistämään kaksi kattokasettia, jotka on asetettu kattotuolin päälle (kuten kuvassa Kuva. 4.27), mikä parantaa levyvaikutusta.

Kuvassa esitetyssä järjestelmässä Kuva. 4.26, palkin yläosa eristetään kattokasettien päätyjen välistä kylmäsiltojen vähentämiseksi. Lattioiden osalta tämä voidaan tehdä rakennuksen sisältä. Palkin uumaan voidaan pultata kulmia siten, että niiden vaikutus parantaa nurjahduslujuutta.

Lopullinen vesieristys voidaan tehdä matalalla kattoprofiililla. Markkinoilla on laaja valikoima erilaisia ratkaisuja tähän tarkoitukseen. Kasettielementin alapuoli voidaan peittää rakennuslevyillä kasetin käyttötarkoituksen mukaan tai asiakkaan toivomuksesta. Esimerkiksi lattiaelementille, johon alakatto ripustetaan, riittää tavallinen OSB-levy; Katon alapinnalle voidaan käyttää teräslevyä levyä, jolla on haluttu ulkonäkö.

Rakennuksen ulommainen verhou voidaan sisällyttää itse kasettiin (kuten tyyppillisessä sandwich-paneelissa) tai asentaa paikan päällä hattuorsien päälle, jotka oli aiemmin asennettu pintaan. Jälkimmäisen etuna on, että kattoprofiili voidaan tulevaisuudessa helposti vaihtaa ja kasetit säilyvät hyvässä kunnossa vaikuttamatta rakennuksen käyttöön profiileita vaihdettaessa.

Esimerkiksi valaistus, voidaan asentaa helposti, koska kasettielementit voidaan valmistaa halkaisijaltaan 150 mm:n huoltoaukoilla. Kasettielementit voidaan uudelleenkäyttää muilla katoilla ja levytys voidaan helposti irrottaa ja vaihtaa, jos se on ajan myötä huonontunut. Samaa kasettijärjestelmää voidaan käyttää teräksisillä I-palkeilla tuetuissa välitasoilla.

Kasettijärjestelmät ovat vaihtoehto pitkän jännevälin sandwich-paneelille, joita ei välttämättä ole saatavilla tietyillä markkinoilla kilpailukykyiseen hintaan. Kasetit mahdollistavat optimoidumman ratkaisun tietyille kuormitukselle ja jännevälille.

4.8 MONIKERROKSISTEN RAKENNUSTEN RAKENNESUUNNITTELU

4.8.1 MONIKERROKSISTEN TERÄSRAKENNUSTEN STANDARDOINTI

Monikerroksisten teräsrakenteiden standardointi on tärkeä lähestymistapa, jolla pyritään parantamaan rakentamisen tehokkuutta ja kestävyyttä sekä sen tulevaa uudelleenkäyttöä. Tässä on joitain keskeisiä näkökohtia, jotka on otettava huomioon:

1. **Modulaarinen suunnittelu:** Modulaaristen suunnitteluperiaatteiden toteuttaminen mahdollistaa komponenttien esivalmistamisen ja standardoinnin, mikä helpottaa niiden kokoamista, purkamista ja uudelleenkäyttöä erilaisissa kokoonpanoissa tai projekteissa,
2. **Suunnittelun joustavuus:** Standardointi edistää yhtenäisiä komponentteja, mutta se voidaan integroida modulaarisiin suunnitteluperiaatteisiin, jolloin rakennuksia voidaan helposti muuttaa tai laajentaa.
3. **Materiaalien standardointi:** Standardoitujen teräsprofiilien ja -liitosten käyttö voi yksinkertaistaa suunnitteluprosessia, vähentää valmistuskustannuksia ja varmistaa yhteensopivuuden uudelleenkäytettäessä osia uusissa rakenteissa.

4. **Liitosjärjestelmät:** Liitosmenetelmien standardointi voi helpottaa purkamista ja kokoamista, mikä tärkeää tulevan uudelleenkäytön kannalta. Pulttiliitosten käyttäminen hitsattujen sijasta voi auttaa tässä prosessissa,
5. **Dokumentointi ja merkinnät:** Rakenneosien asianmukainen dokumentointi ja merkinnät voivat auttaa jäljittämään komponentteja tulevaa uudelleenkäyttöä varten ja varmistamaan, että ne voidaan helposti tunnistaa ja käyttää uudelleen,
6. **Digitaalitekнологia:** Hyödynnetään rakennustietomallintamista (BIM) ja muita digitaalisia suunnitteluvälineitä, jotka mahdollistavat standardoitujen komponenttien paremman visualisoinnin ja koordinoinnin.
7. **Elinkaariarviointi:** Elinkaariarviointityökalujen sisällyttäminen suunnitteluvaiheeseen voi auttaa arvioimaan materiaalien ympäristövaikutuksia ja kestävyyttä ja edistämään uudelleenkäytettävien komponenttien käyttöä.

4.8.2 MONIKERROKSISIA TERÄSRAKENNUKSIA KOSKEVAT OHJEET

Nykyiset ratkaisut monikerroksisiin teräsrakennuksiin, joista suurin osa on liittorakenteita, ovat vaikea haaste teräsrakenteiden talteenotolle ja uudelleenkäytölle. Teräspalkit liitetään betoniin liitoksilla, joihin on hyvin rajoitettu pääsy. Teräksen ja betonin pysyvän kiinnityksen vuoksi lattiapäällysteitä ei voida käyttää uudelleen alkuperäisessä muodossaan rakentamisen jälkeen. Sekä terästä että betonia voidaan kuitenkin kierrättää, mikä mahdollistaa ympäristövastuullisen loppusijoituksen, vaikka suora uudelleenkäyttö ei olisikaan mahdollista.

Näin ollen tavalliset monikerroksiset teräsrakennukset ovat yleensä uudelleenkäytettäviä vain paikan päällä niiden monimutkaisen rakenteen, materiaalien ja rakennussidonnaisten teknisten näkökohtien vuoksi. Niiden siirtäminen uuteen paikkaan vaatisi laajaa uudelleensuunnittelua, mikä tekisi siitä epäkäytännöllisen useimmissa projekteissa.

Tässä oppaassa annettuja suosituksia voidaan käyttää monikerroksisissa teräsrakennuksissa, jotka sijaitsevat ei-seismisillä alueilla tai alueilla, joilla seismisessä suunnittelussa oletetaan DC1 (eli muodollinen Ductility Class Low tai DCL) -konsepti (matala seisminen toimintaluokka, katso prEN 1998-1-2 [39]).

Dissipatiivisen rakenteellisen käyttäytymisen käsitteen mukaisesti suunniteltujen rakenteiden on kuuluttava rakenteellisiin sitkeysluokkiin DC2 tai DC3. Nämä luokat vastaavat rakenteen lisääntyneitä kykyä hajottaa energiaa plastisesti. Sitkeysluokasta riippuen on täytettävä erityisvaatimukset yhdessä tai useammassa seuraavista seikoista: teräsprofiilien luokka ja liitosten vääntökestävyys. Tällaisissa tapauksissa on suositeltavaa sallia uudelleenkäytettävien teräsosien käyttö vain, jos kyseisiä osia käytetään vähintään yhdessä seuraavista olosuhteista: i) painovoimaisen tai sekundäärisen kuormituksen järjestelmän jäsenenä (jotka eivät ole osa vaakavoimia vastaanottavaa järjestelmää, kuten nivelelliset lattiapalkit) tai ii) osina, jotka ovat osa DC1-rakennetta.

Näin ollen ei-seismisillä alueilla tai DC1-seismisillä alueilla sijaitsevilla monikerroksisissa teräsrakennuksissa suurin haaste on välipohjien liittovaikutus, joka tekee niistä mahdottomia käyttää uudelleen.

Kuumavalssatut teräsrungot esivalmistetuilla välipohjaelementeillä ovat yleinen rakenneratkaisu useisiin monikerroksisiin rakennustyyppisiin [10]. Tämä ratkaisu on teräspalkit betonielementeillä, jotka ovat teräspalkkien päällä tai palkkiin liitetyillä

kulmateräksillä, palkkilaipan ulkopuolella. Tämä eroaa liittopalkkeista, joissa rakenneliitoksilla luodaan yhtenäinen kantava rakenne. Ontelolaatta ja liittopalkki -järjestelmällä saavutetaan ohuempia rakenneratkaisuja. Siinä ontelolaatat asennetaan teräspalkin alalaipalle.

Teräspalkki on suunniteltu kantamaan kuormat ilman, että betonilaatta lisää lujuutta tai jäykkyyttä. Ontelolaatat toimivat ensisijaisesti lattiapintana ja muottina pintalattioille (jos niitä käytetään) ja ne voivat myös tukea teräspalkkeja vaakavoimia vastaan rakentamisen aikana. Ontelolaattojen syvyys on yleensä 150–400 mm, tai ne voivat olla myös kuorilaattoja, joiden syvyys on 75–100 mm. Ontelolaattoja voidaan käyttää jopa 15 metrin jänneväleihin.

Tämän rakenneratkaisun rakennesuunnitteluohjeita käsitellään useissa SCI-julkaisuissa, *P287: Design of composite beams using precast concrete slabs* [40], ja *P342: Design of asymmetric Slimfloor beams with precast concrete slabs* [41] ja *P334: Design of multi-storey braced frames* [42].

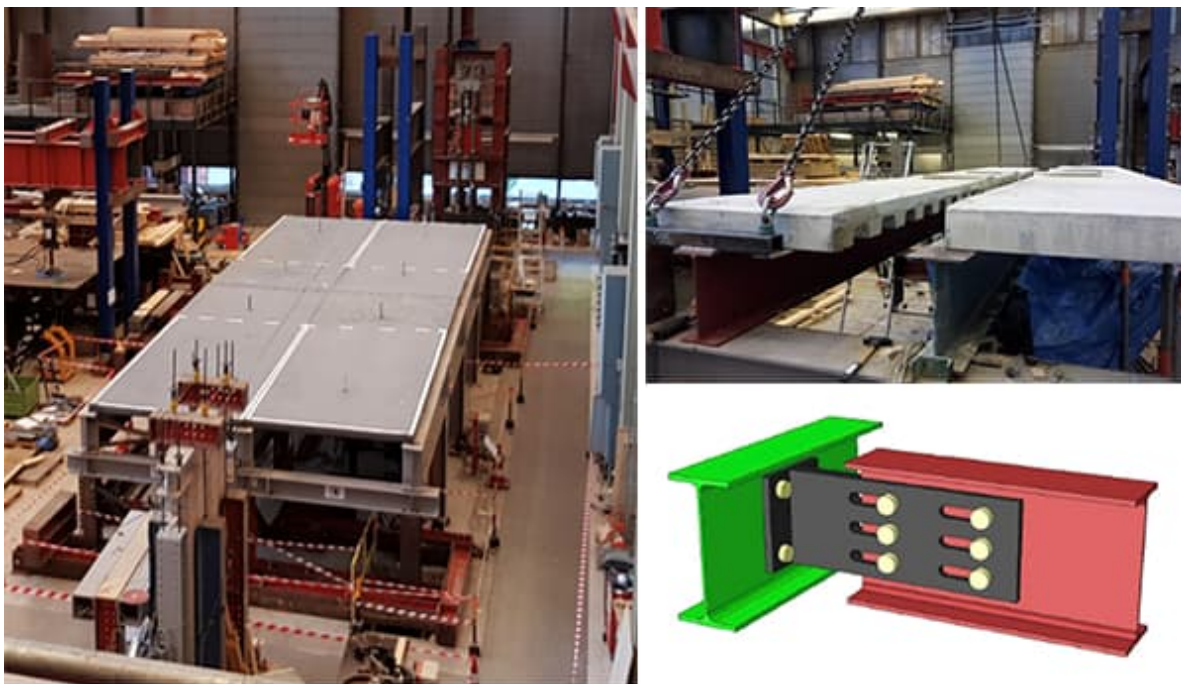
Peikko Group Oy:llä [43] on samanlainen ratkaisu. DELTABEAM® on liittopalkki, joka integroidaan liittorakenteeseen. Palkki betonoidaan työmaalla. Betoni ja DELTAPALKKI® muodostavat betonin kovettumisen jälkeen liittorakenteen. DELTAPALKKI® toimii normaalina teräspalkkina ennen kuin täytebetoni on saavuttanut vaaditun lujuuden. Sitä voidaan käyttää betoni-puu hybridirakenteena massiivipuulaattojen (CLT, GLT, NLT, DLT) kanssa.

Betonielementtien kanssa käytetyt teräspalkit tarjoavat merkittäviä etuja uudelleenkäyttöön, koska niiden rakenne voidaan purkaa mahdollisimman vähäisin vaurioin, jolloin sekä palkit että laatat voidaan pelastaa ehjinä. Vain pienillä muutoksilla näitä komponentteja voidaan käyttää tehokkaasti uusiin rakenteisiin, mikä tukee kestävämpiä ja kiertotalouteen perustuvia rakennuskäytäntöjä.

RFCS REDUCE -hanke [44] kehitti ja testasi uusia liittorakennejärjestelmiä ja antoi suunnitteluohjeita ja käytännön tietoa tällaisten järjestelmien valmistuksesta ja yksityiskohdista ensimmäistä ja toista käyttöjaksoa varten. Tavoitteena oli helpottaa kiertotaloutta sekä rakenneosien sarjatuotantoa ja soveltuvuutta lisättäväksi tietomalliin tai muihin digitaalisiin työkaluihin. Irrotettavat palkki- ja välipohjajaelementit sekä säädettävät teräslitokset muodostavat perustan "plug and play" [45] -rakenteelliselle järjestelmälle (ks. Kuva. 4.30).

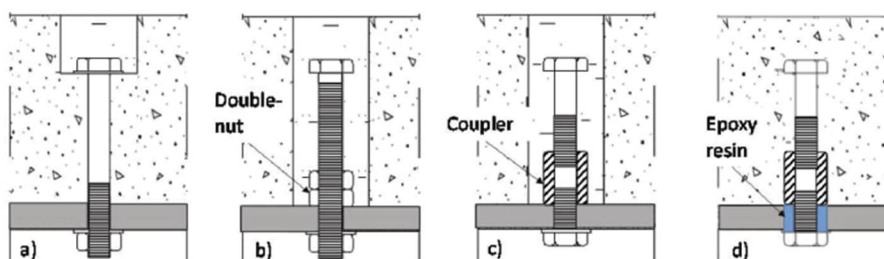
Push-out -testejä on tehty uusilla, purettavilla leikkausliitoksilla. Testit on suoritettu elementti- ja liittolaatoilla kitkapulteilla raudoitusholkeilla. Joissakin järjestelmissä on käytetty ruiskutettua hartsia alkuluiston vähentämiseksi.

Lisäksi Delftin teknillisessä yliopistossa on suoritettu laajamittainen pysäköintitalokokeilu, joka käsittää neljä (7,2 m × 2,6 m) esivalmistettua betonilaattaa kolmella 14,4 metrin kartiomaisella teräspalkilla. Liittorakenne saavutettiin käyttämällä hartsikäsiteltyjä upotettuja liittimiä. Testit suunniteltiin selvittämään pysäköintitalon välipohjien asennuksen, purkamisen ja uudelleen kokoamisen käytäntöjen yksityiskohdat ja kustannukset.



Kuva. 4.30 Yleiskatsaus koekappaleisiin [44], [46], [47]

Liittopalkkitestejä on tehty myös irrotettavissa olevilla leikkausliitoksilla ja erilaisissa järjestelyissä. Ensimmäisen elastisen testauksen jälkeen osa laatoista leikattiin pituussuunnassa, irrotettiin, koottiin uudelleen ja testattiin murtoon asti. Keskeinen komponentti irrotettavan ja uudelleenkäytettävän rakenteen saavuttamiseksi on kiinnikkeiden tyyppi (katso Kuva. 4.31), jota käytetään teräspalkin ja laatan välisessä liitoksessa (paikallavaletut ja esivalmistetut laatat) [44], [46], [47].



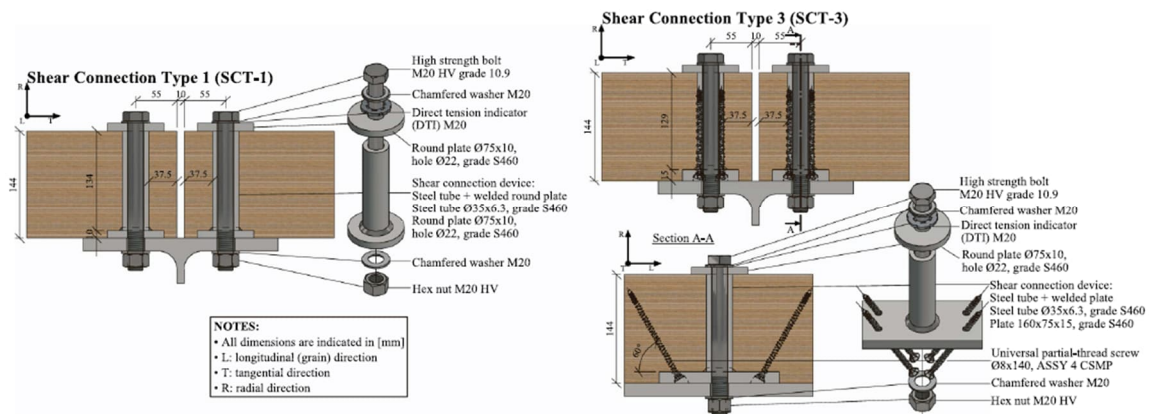
Kuva. 4.31 Irrotettavien pulttien tyypit a) kitapultit, b) kaksoismutteri, c) holkkikiinnikkeet, d) hartsiruiskutetut pultit holkeilla [44]

Lisäksi on testattu standardoituja liitoksia, jotka helpottavat palkkien purkamista ja uudelleenkäyttöä. Näihin kuuluivat uritetut liitokset [45].

Suunnitteluopas P428 [48] esittää suunnittelumenettelyn ja työstetyt esimerkit liittopalkkeille, joissa käytetään irrotettavia leikkausliittimiä, jotka perustuvat Eurocode 4:n (EN 1994-1-1) periaatteisiin. Suunnittelumenetelmässä otetaan huomioon irrotettavien leikkausliitosten erilaiset ominaisuudet niiden leikkauskestävyyden, jäykkyyden ja sitkeyden suhteen. Suunnittelutiedot esiteltiin kahden tyyppisten irrotettavien leikkausliittimien suorituskyvystä, joissa käytettiin erittäin lujia rakennepultteja ja holkkijärjestelmiä. Oppaassa esitetään useita

ratkaisuja rakennuksiin, hybridi- tai liittorakenteen osiin ja monikerroksisten rakennusten liitoksiin. Irrotettavien liittorakenteiden rakennesuunnittelulle ei kuitenkaan ole olemassa vakiintuneita teknisiä standardeja. Siksi laaja tutkimus on välttämätöntä kattavan tietokannan rakentamiseksi ja käyttökelpoisten suunnittelumenetelmien kehittämiseksi.

Romero ja Odenbreit [49] esittävät innovatiivisen irrotettavan teräs-puu liittorakenteen (STC), jota voidaan käyttää uudelleen. Järjestelmä koostuu kuumavalsatuista I-palkeista ja laminoiduista viilupuulaatoista (LVL), jotka on liitetty teräspalkkeihin uuden mallisilla leikkausliittimillä. Tämä STC-lattiajärjestelmä tarjoaa vaihtoehdon perinteisille teräs-betonilattiajärjestelmille. STC-palkkien uudentyypiset leikkausliitokset helpottavat komponenttien irrotettavuutta, muunneltavuutta, uudelleenkonfigurointia ja siirtämistä (katso Kuva. 4.32).



Kuva. 4.32 Yksityiskohdat tässä kokeellisessa tutkimuksessa testatuissa irrotettavissa teräs-puu liittorakenteessa toteutetuista leikkausliitoksista SCT-1 ja SCT-3 [49]

Tämä välipohjajärjestelmä on erittäin lupaava modularisoinnissa, standardoinnissa ja muussa sarjatuotannossa, mikä tekee siitä ihanteellisen esivalmistamiseen vakiokoossa ja -moduuleissa. Rakennetta voidaan siirtää tai yksittäisiä rakennneosia voidaan uudelleenkäyttää toisissa rakennuksissa. Näin ollen se tuo sekä ympäristö- että taloushyötyjä.

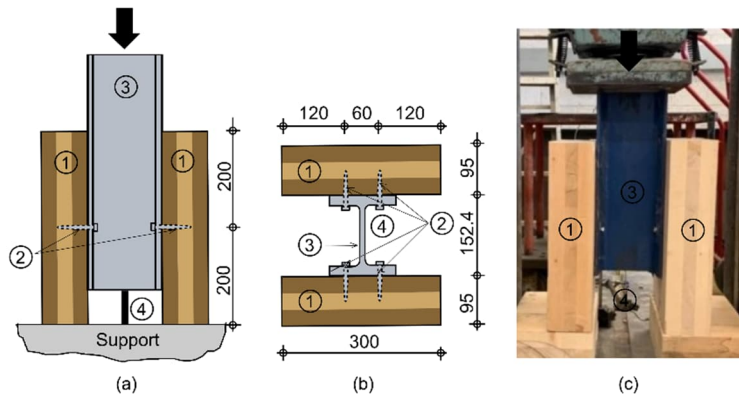
Kaksi täysimittaista STC-palkkia, joiden jänneväli oli 10 m, LVL-laatan leveys 2,51 m ja paksuus 144 mm ja jotka oli liitetty teräsprofiiliin IPE 400, yksinkertaisesti tuettiin yksinkertaisesti ja testattiin kuuden pisteen taivutuksella niiden taipumavasteen arvioimiseksi (katso Kuva. 4.33). Kahden täysimittaisen taivutustestin tulokset osoittavat niiden merkittävän kantavuuden ja muodonmuutoskyvyn sekä uudelleenkäyttöpotentiaalin. Lisäksi tulokset osoittavat uusien leikkausliitosten tehokkuuden ja palkkien yleisen rakenteellisen eheyden.



Kuva. 4.33 STC-palkkinäytteiden komponentit [49]

Bompa et al. [50] arvioi teräs-puu -leikkausliitosten purettavuutta ja uudelleenkäyttämismahdollisuuksia testeissä, joissa käytettiin kokoonpanoja kolmen eri halkaisijan ruuveilla. Testit suoritettiin ensin kullekin kokoonpanolle jäykkyyden, lujuuden ja sitkeyden arvioimiseksi (katso Kuva. 4.34). Sen jälkeen kaksoiskappaleet testattiin kymmenellä lastaus- ja purkujaksolla 40 %:lla ensimmäisistä testeistä saadusta kapasiteetista jäykkyyden huonontumisen, ruuvien muodonmuutosten ja CLT-paneelin vaurioiden arvioimiseksi.

Purkamisen ja mittauksen jälkeen näytteet koottiin uudelleen ja testattiin murtumaan asti. Purkamisen jälkeen ruuveissa oli pysyviä muodonmuutoksia, ja massiivipuulevyt osoittivat vain vähän vaurioita syklisen kuormituksen aikana. Uudelleen kootuilla näytteillä oli samanlainen jäykkyys, lujuus, sitkeys ja vikatilat, jotka olivat samanlaisia kuin monotonisesti testatuilla näytteillä. Nämä havainnot viittaavat siihen, että sekä teräsosalla että CLT-levyillä on täysi rakenteellinen uudelleenkäytettävyys ja että testimittauksia voidaan käyttää rakenteellisena uudelleenkäytön kiertotalousindikaattorina.



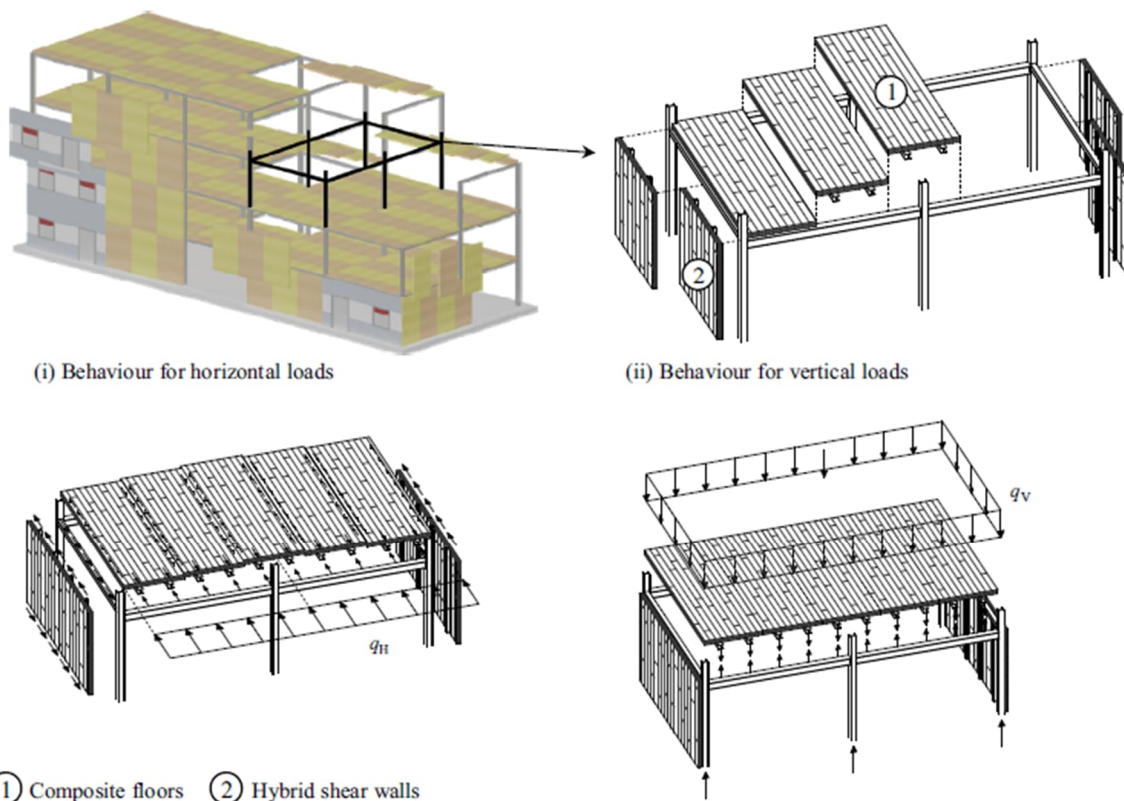
Kuva. 4.34 Koekappaleiden tiedot: a) edestä, b) ylhäältä, c) koekappale (selitys: (1) CLT-paneeli, (2) ruuvit, (3) teräsprofiili, (4) anturi, nuoli osoittaa reaktiopisteen)

Suunnitteluopas 37, *Hybrid Steel Frames with Wood Floors* [51] kannustaa käyttämään massiivipuujärjestelmiä rakentamisessa. Opas tarjoaa kattavan kontekstin tälle uudelle rakennetyypille ja kertoo yksityiskohtaisesti strategioista, joilla voidaan nopeuttaa massiivipuun ja teräksen käyttöä monikerroksisissa asuin- ja liikerakennuksissa. Massiivipuun on kevyttä, ja teräs antaa rakenteille lujuutta ja voi täyttää paremmin rakennusten värinä- ja jänneväli vaatimukset. Suunnitteluopas 37 ja esitetyt ratkaisut on mukautettu purkamista ja tulevaa uudelleenkäyttöä varten.

ECCS:n julkaisu ECCS N°145 [52] palvelee tulevaisuuden ohjeena tutkimuksista, jotka auttavat viimeistelemään suunnitteluohjeen rakenteille, joissa on teräs-puu hybridi liittorakenteita. Ehdotettujen suositusten tarkoituksena on hahmotella tulevia tutkimusaiheita ja tarjota teknistä tietoa, jotta voidaan kehittää kattava suunnittelukoodi teräs-puu liittorakenteille. Suositukset on jaettu seuraaviin kohtiin: (1) puu materiaalina ja tuotteina; (2) leikkausliitokset; (3) saumat; (4) palkit ja laatat; (5) pilarit; (6) seinät, levyvaikutus ja jäykisteet; (7) palosuunnittelu ja (8) kestävyys.

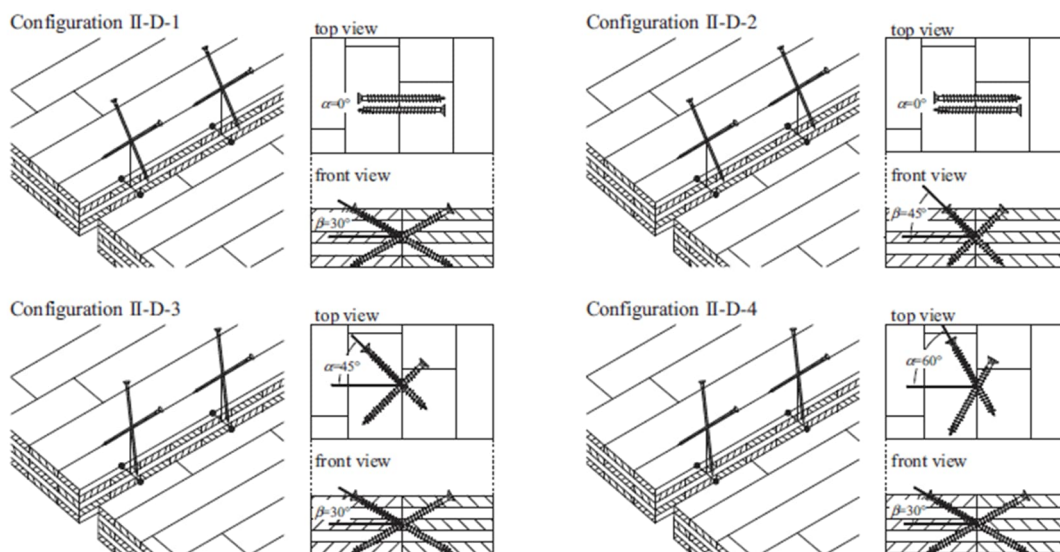
Ferdous et al. [53] esitteli huippuluokan katsauksen, jossa tutkittiin systemaattisesti moduulirakennusten viimeaikaisia edistysaskeleita, mekaanista suorituskykyä, haasteita ja näkymiä.

Loss et al. [54], [55] kehitti monikerroksisen esivalmistetun modulaarisen rakennusjärjestelmän, jossa puuta ja terästä yhdistämällä valmistetut rakenneosat ovat pitkälle suunniteltuja ja niitä voidaan valmistaa tehtaalla. Tutkimus osoitti teräs-puuhybridirakenteiden potentiaalinen kestävyys kannalta, sillä ne tarjoavat kevyitä, moderneja, seismisiä rakenteita ja helpon purkamisen. Artikkeleissa esitellään useiden innovatiivisten liitosten testejä ja tarjotaan prototyyppisiä uusista pitkälle teollistuneista teräs-puuhybridiseinä- ja välipohjakomponenteista. Kuva. 4.35 on 3D-näkymä referenssirakennuksesta, jossa teräsrunko ja -palkit yhdistetään massiivipuupaneeliin (CLT).

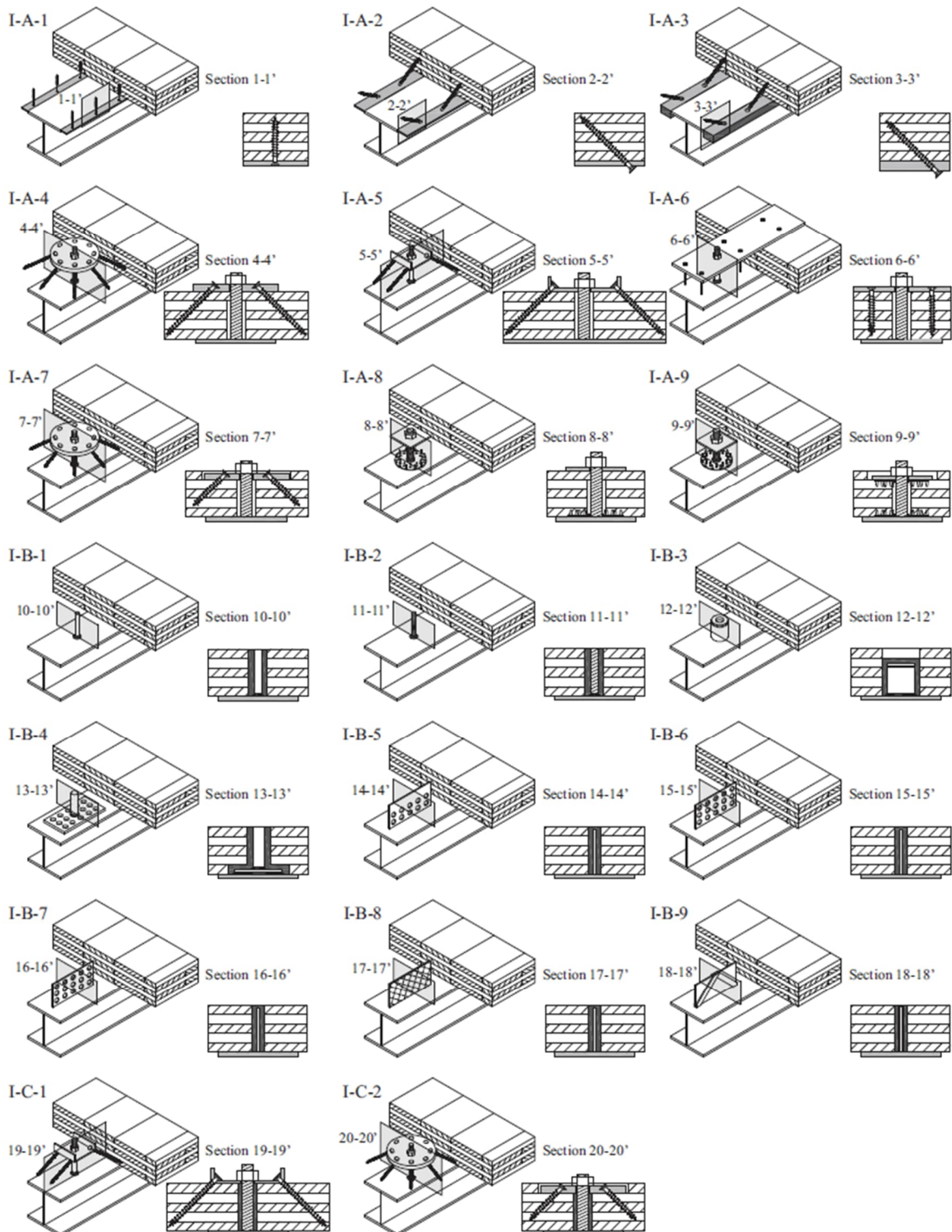


Kuva. 4.35 Rakennuksen aksometrinen näkymä ja hybridirakenteen räjäytyskuva pysty- ja vaakasuuntaisille kuormille [54]

Kuva. 4.36 ja Kuva. 4.37 nykyinen teräs-puu liitosten sarja I, joka kattaa 20 erilaista kokoonpanoa, kun taas sarja II sisältää 4 erottuvaa puu-puu liitosjärjestelyä. Tutkimus on osoittanut, että saatavilla on liittorakenne-elementtejä, jotka tarjoavat erinomaisen taivutuskäyttäytymisen pystykuormissa.



Kuva. 4.36 Paneelien väliset reunaliitokset teräs-CLT välipohjille ja seinille [54]



Kuva. 4.37 Palkki-laatta -liitokset teräs-CLT välipohjille ja seinille [54]

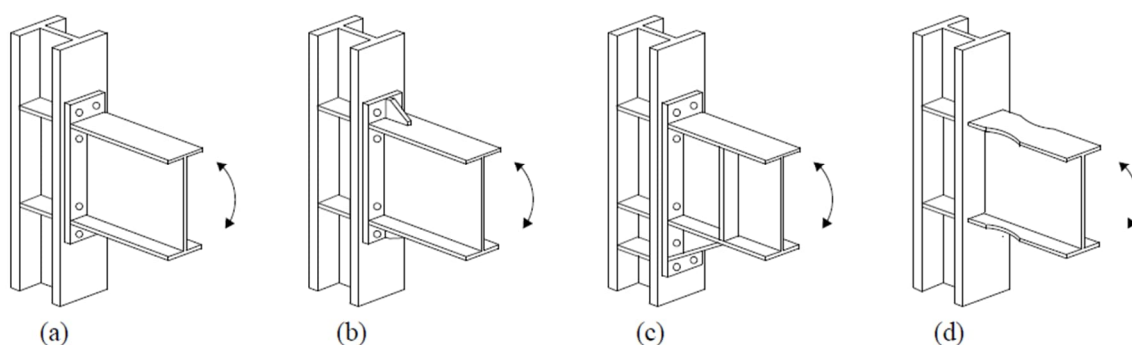
Monikerroksisissa rakennuksissa, jos lattiassa käytetään irrotettavia leikkausliitoksia ja varmistetaan pääsy palkkien ja pilareiden liitoksiin, pulttiliitokset voidaan helposti purkaa.

Merkittäviä rajoituksia on kuitenkin havaittu rakenteissa, jotka on suunniteltu dissipatiivisen rakenteellisen käyttäytymisen käsitteiden mukaisesti (standardin EN 1998 rakenteelliset sitkeysluokat DC2 tai DC3). Eurooppalainen tutkimushankkeen "Equaljoints plus" [56], [57], [58] tarkoituksena oli tarjota teräslitosten esivalintakriteerit EN 1998-1-2:n seuraavaa versiota varten [39]. Tutkimustoiminta kattoi suunnittelu- ja valmistusmenetelmien standardoinnin käyttämällä eri pulttiliitostyyppisiä ja hitsattua koiranluukoesauvaa raskailla profiileilla, jotka on suunniteltu vastaamaan eri suorituskykytasoja. Yksi hankkeen tavoitteista oli kehittää kuormitusprotokolla yhteiselle eurooppalaiselle esikvalifioinnille, joka perustuu edustavaan maanjärstysvaatimukseen Euroopassa.

Projektissa tutkittiin neljää pultattua palkki-pilari liitostyyppiä ((a) jäykistämättömät pidennetyt päätylevyn pulttiliitokset, (b) jäykistetyt pidennetyt päätylevyn pulttiliitokset, (c) pulttiliitokset kulmatuella ja (d) koiranluuhitsatut liitokset (katso [57], [58]), jotka on suunniteltu vastaamaan eri suorituskykytasoja. Pulttiliitokset suunniteltiin prEN 1993-1-8 -standardin suunnittelumenettelyn mukaisesti. Koiranluuhitsattujen liitosten suunnittelu oli Yhdysvaltain rakennusmääräysten ASCE 7-10 (rakennusten ja muiden rakenteiden vähimmäissuunnittelukuormitukset) mukainen. [59] ja teräsrakennuskohtaisiin standardeihin AISC 341-16 (Seismiset määräykset teräsrakennuksille) [60], AISC 358-16 (esihyväksytyt liitännät seismisiä sovelluksia varten) [61] ja AISC 360-16 [62].

Liitoksia ehdotettiin käytettäväksi DC2- ja DC3-sitkeysluokissa, joilla on seuraavat suorituskykytavoitteet:

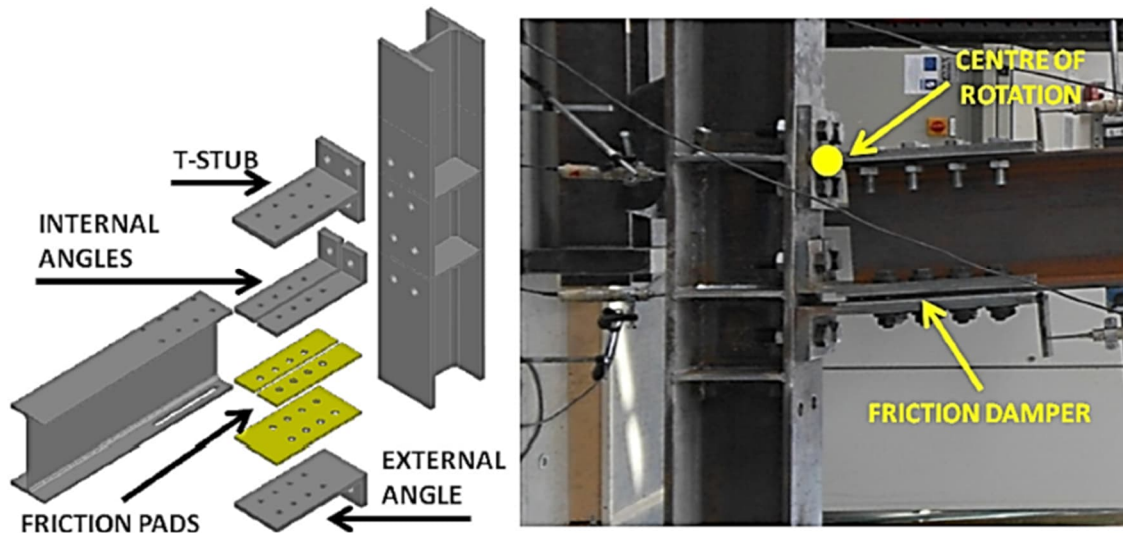
- Täysi lujuusliitos: kaikki plastinen kuormitus keskittyy palkkiin, jolloin liitos ja uuma ovat vaurioitumattomia;
- Yhtä luja liitos: plastinen kuormitus on tasapainossa liitoksen ja kytketyn palkin välillä;
- Osittainen lujuusliitos: kaikki plastinen kuormitus keskittyy liitokseen.



Kuva. 4.38 EQUALJOINTS-projektin puitteissa esihyväksytyt palkki-pilariliitokset: a) Pultattu liitos b) Pultattu jäykistetty päätylevyliitos c) Pultattu jäykisteetön päätylevyliitos d) Hitsattu koiranluuliitos

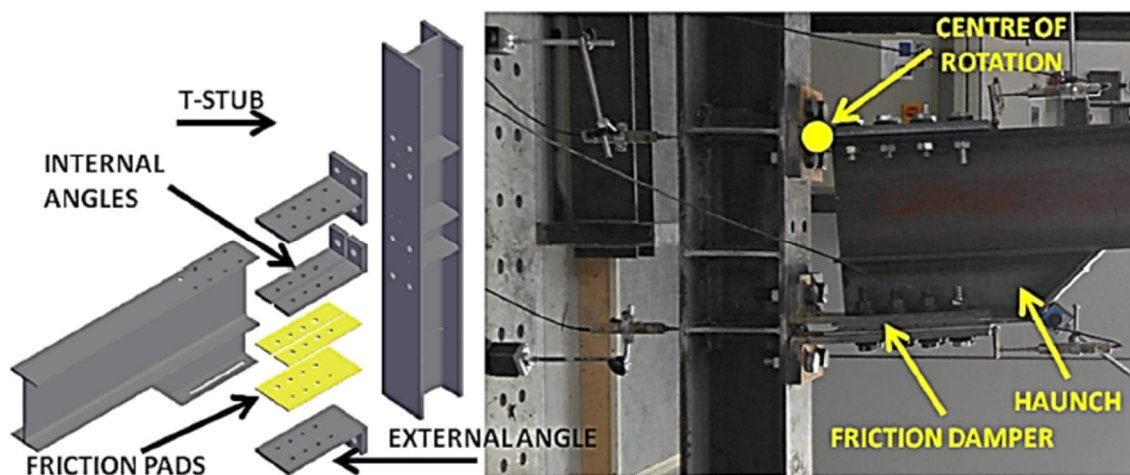
Muut innovatiiviset ratkaisut DC2:lle ja DC3:lle perustuvat kitkavaimentimilla varustettuihin palkki-pilariliitoksiin [63]. Palkki on kytketty pilariin klassisella kiinteällä T-tapilla, joka kiinnittää ylemmän laipan, ja kitkavaimentimella, joka sijaitsee palkin alalaipassa (katso Kuva. 4.39). Kitkavaimennin koostuu pinosta teräslevyjä, jotka on suunniteltu varmistamaan symmetrinen kitka. Kitkavaimennin on suunniteltu liukumaan kuormitustasolla, joka on

pienempi kuin kytketyn palkin nimellinen taivutusvastus. Tällä tavalla on mahdollista saada liitokset, jotka pystyvät hajottamaan seismisen energian vahingoittamatta teräspalkkeja.



Kuva. 4.39 Palkin ja pylvään välinen liitântä, joka on varustettu kitkavaimentimilla [63]

Kytkeytyn palkin hyödyntämisen maksimoimiseksi voidaan myös ehdottaa palkin kulmatuen käyttöä vipuvarren lisäämiseen ja kalibrointiin (katso Kuva. 4.40). Kitkavaimentimien testiohjelman tulokset ovat osoittaneet, että kytkettyjen palkkien säilyttäminen vahingoittumattomana on mahdollista myös maanjäristyskuormituksen aiheuttamassa toistuvassa sykliisessä kuormituksessa.



Kuva. 4.40 Palkin ja pilarin välinen liitântä, joka on varustettu kitkavaimentimilla ja lisätuella [63]

5 Päätelmät

Kasvava tarve vähentää rakennusalan ympäristövaikutuksia on herättänyt merkittävää kiinnostusta rakennusmateriaalien, erityisesti rakenneteräksen, uudelleenkäyttöön. Tämä julkaisu vastaa tähän tarpeeseen keskittymällä suunnittelustrategioihin, jotka helpottavat teräsosien purkamista ja uudelleenkäyttöä tulevaisuudessa. On tärkeää integroida purkamisen suunnittelun (DfD) periaatteet suunnitteluprosessin varhaisessa vaiheessa, jotta varmistetaan, että rakenteet eivät ole vain toimivia ja kestäviä, vaan myös mukautuvia tuleviin tarpeisiin. Painopiste on modulaarisessa rakenteessa, standardoiduissa komponenteissa ja helposti saatavilla olevissa mekaanisissa liitoksissa, jotka yhdessä helpottavat purkamista ja pidentävät materiaalien elinkaarta.

Lisäksi asiakirjassa korostetaan jäljitettävyyden ja kattavan dokumentoinnin tarvetta rakennuksen koko elinkaaren ajan. Rakennustietomallinnuksen (BIM) käyttöönotto ja yksityiskohtaisten rakennusmuistioiden ylläpito varmistavat, että kriittiset tiedot, kuten materiaalin ominaisuudet, suunnittelutiedot ja valmistustiedot, säilyvät, mikä helpottaa huomattavasti tulevaa uudelleenkäyttöä. Oppaassa käsitellään myös kuormitus- ja rakenneanalyysivaatimuksia sen varmistamiseksi, että purettaviksi suunnitellut rakennukset säilyttävät korkeat suorituskykystandardit ensimmäisen ja myöhemmän käyttöikänsä aikana. Yhdistämällä teknisen kurinalaisuuden käytännön strategioihin opas esittelee kokonaisvaltaisen lähestymistavan kestäviin rakentamisen käytäntöihin.

Nämä suositukset merkitsevät ratkaisevaa muutosta perinteisistä suunnittelukäytännöistä kohti kiertotalousmallia, jossa materiaalit pidetään käytössä pidempään. Ympäristönäkökohtien sisällyttäminen rakennesuunnitteluun toiminnallisuudesta tai turvallisuudesta tinkimättä korostaa ehdotettujen strategioiden kypsyttä ja käytännöllisyyttä. Julkaisu tarjoaa vankan perustan kestäväen kehityksen edistämiseksi rakennusalalla ja tukee suunnittelijoita, insinöörejä ja päättäjiä pitkän aikavälin ympäristötavoitteiden saavuttamisessa.

Tästä teoksesta voidaan tehdä seuraavat keskeiset johtopäätökset:

- **Design for Reuse:** Purkamisen suunnittelun (DfD) periaatteiden integrointi suunnitteluprosessin varhaisessa vaiheessa mahdollistaa rakenneteräsosien uudelleenkäytön tulevaisuudessa, mikä tukee rakentamisen kiertotaloutta.
- **Modulaarisuus ja standardointi:** Modulaariset rakennusrakenteet ja standardoidut teräskomponentit helpottavat purkamista ja lisäävät materiaalien talteenotto- ja uudelleenkäyttömahdollisuuksia.
- **Liitokset:** Pultti- ja mekaanisten liitosten käyttö pysyvien hitsausliitosten sijaan helpottaa rakenneseosien purkamista ja uudelleenkäyttöä.
- **Jäljitettävyys ja dokumentointi:** Yksityiskohtainen kirjanpito, mukaan lukien rakennustietomallinnus (BIM) ja materiaaliluettelot, varmistaa, että olennaiset materiaali- ja valmistustiedot säilyvät tulevaa uudelleenkäyttöä varten.
- **Rakenteellinen suorituskyky:** Suunnitelmien on tasapainotettava uudelleenkäytettävyyden tarve tiukkojen suorituskykystandardien kanssa, mikä varmistaa kestävyden, turvallisuuden ja mukautuvuuden useiden elinkaaren aikana.

- **Ympäristövaikutusten vähentäminen:** Helpottamalla terästuotteiden uudelleenkäyttöä suositukset vähentävät merkittävästi rakennusjätettä ja hiilidioksidipäästöjä.
- **Toimialan edistyneisyys:** Ohjeet edistävät rakennusalan siirtymistä kohti kestäviä käytäntöjä tinkimättä toimivuudesta, taloudellisesta toteutettavuudesta tai turvallisuudesta.
- **Käytäntöjen ja käytäntöjen yhdenmukaistaminen:** Julkaisu tukee alan standardien ja määräysten kehittämistä, jotka voivat edistää uudelleenkäyttöön suuntautuneiden suunnittelustrategioiden laajempaa käyttöönottoa.

Viittaukset

- [1] Gorgolewski M (2006). The implications of reuse and recycling for the design of steel buildings. *Can J Civ Eng* 33, 489-496.
- [2] Steel Alliance (2008). Single-storey buildings, Part 1: Architect's guide. Design Guide produced in the framework of the RFS2-CT-2008-0030 Facilitating the market development for sections in industrial halls and low rise buildings (SECHALO).
- [3] Steel Alliance (2008). Multi-storey buildings, Part 1: Architect's guide. Design Guide produced in the framework of the RFS2-CT-2008-0030 Facilitating the market development for sections in industrial halls and low rise buildings (SECHALO).
- [4] SCI P399 (2015). Design of Steel Portal Frame Buildings to Eurocode 3. The Steel Construction Institute, UK.
- [5] SCI P252 (2004). Design of Single-Span Steel Portal Frames to BS5950-1:2000. The Steel Construction Institute, UK.
- [6] CEN – European Committee for Standardisation (2024). EN 1993-1-8: Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1-8: Design of joints, Brussels, Belgium.
- [7] BSI – British Standards Institution – BS 5950-1:2000. Structural use of steelwork in building. Code of practice for design. Rolled and welded sections.
- [8] 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.
- [9] CEN – European Committee for Standardisation (2023). EN 1990: Eurocode: Basis of structural and geotechnical design, Brussels, Belgium.
- [10] Steel Alliance (2008). Multi-storey buildings, Part 2: Concept design. Design Guide produced in the framework of the RFS2-CT-2008-0030 Facilitating the market development for sections in industrial halls and low rise buildings (SECHALO).
- [11] ISO 12944-1. Paints and varnishes – Corrosion protection of steel structures by protective paint systems – Part 1: General introduction, 2017.
- [12] ISO 1461. Hot dip galvanized coatings on fabricated iron and steel articles – Specifications and test methods, 2009.
- [13] ISO 14713-1:2017. Zinc coatings – Guidelines and recommendations for the protection against corrosion of iron and steel in structures – Part 1: General principles of design and corrosion resistance.
- [14] ISO 14713-2. Zinc coatings – Guidelines and recommendations for the protection against corrosion of iron and steel in structures – Part 2: Hot dip galvanizing, 2009.
- [15] ISO 14713-3:2017. Zinc coatings – Guidelines and recommendations for the protection against corrosion of iron and steel in structures – Part 3: Sherardizing.
- [16] CEN – European Committee for Standardisation – EN ISO 19650-1:2018; Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling.

- [17] CEN – European Committee for Standardisation – EN ISO 19650-2:2018; Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling.
- [18] CEN – European Committee for Standardisation – prEN 17412 – Building information modelling – Level of information needed – concepts and principles.
- [19] CEN – European Committee for Standardisation – prEN ISO 23387-1 Building Information Modelling (BIM) – Data templates for construction objects used in the life cycle of any built asset – Concepts and principles.
- [20] ISO/DIS 20887. Sustainability in buildings and civil engineering works – Design for disassembly and adaptability – Principles requirements and guidance.
- [21] CWA 17316: 2018. Smart CE marking for construction products; CEN-CENELEC Management Centre: Rue de la Science 23, B-1040 Brussels.
- [22] Steel Alliance (2008). Multi-storey buildings, Part 3: Actions. Design Guide produced in the framework of the RFS2-CT-2008-0030 Facilitating the market development for sections in industrial halls and low rise buildings (SECHALO).
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] Kray T, Paul J (2015). Comparative study of effects on peak velocity pressure calculated by thirty-four European wind loading standards. Proc. 14th International Conference on Wind Engineering, Porto Alegre, Brasil, June 21-26.
- [26] Holický M (2009). Reliability analysis for structural design. Sun Press.
- [27] CEN – European Committee for Standardisation (2010). NEN-EN 1990+A1+A1/C2/NB. National Annex to NEN-EN 1990+A1:2006+A1:2006/C2:2010 Eurocode: Basis of structural design.
- [28] CEN – European Committee for Standardisation (2003). EN 1991-1-5: Eurocode 1. Actions on structures, Part 1-5: General actions - Thermal actions, Brussels, Belgium.
- [29] Davison B, Owens GW (eds.) (2012). Steel designers' manual. The Steel Construction Institute, 7th edition, Wiley-Blackwell, UK.
- [30] Research Fund for Coal and Steel (RFCS): Progress – Case study Fokker 7 distribution Center Schiphol Airport; Images courtesy of Tata Steel (<https://www.tatasteeleurope.com/>).
- [31] <https://www.ruukki.com/>.
- [32] SCI P358 (2014). Joints in steel construction: Simple joints to Eurocode 3. The Steel Construction Institute.
- [33] SCI P338 (2004). Quicon Design Guide to BS 5950-1. The Steel Construction Institute.

- [34] <https://www.newsteelconstruction.com/wp/quicon-wins-contract-at-ikea/>.
- [35] SCI P428 (2020). Guidance on Demountable Composite Construction Systems for UK Practice, 2020. The Steel Construction Institute.
- [36] <https://www.kloecknermetalsuk.com/westok/>.
- [37] <https://www.spstechnology.com/>.
- [38] <http://www.lindapter.com/>.
- [39] CEN – European Committee for Standardisation (2023). prEN 1998-1-2: Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance - Part 1-2: Buildings, Brussels, Belgium.
- [40] SCI P287 (2003). Design of composite beams using precast concrete slabs. The Steel Construction Institute.
- [41] SCI P342 (2006). Design of asymmetric Slimfloor beams with precast concrete slabs. The Steel Construction Institute.
- [42] SCI P334 (2004). Design of multi-storey braced frames. The Steel Construction Institute.
- [43] <https://www.peikko.com/products/deltabeam-slim-floor-structures/technical-information/>.
- [44] Research Fund for Coal and Steel (RFCS): Reuse and demountability using steel structures and the circular economy - REDUCE, project number RFCS-02-2015.
- [45] Odenbreit C, Yang J, Romero A, Kozma A (2023). A Lego-like steel-framed system for standardization and serial production. *Steel Construction* 16(1), 56-64.
- [46] Kavoura F, Veljkovic M (2023). Design strategies for reusable structural components in the built environment. *Life-Cycle of Structures and Infrastructure Systems, Biondini & Frangopol (Eds)*. 799-806.
- [47] Kozma A, Odenbreit C, Braun MV, Veljkovic M, Nijgh MP (2019). Push-out tests on demountable shear connectors of steel-concrete composite structures, *Structures* 21, 45-54.
- [48] SCI P428 (2020). Guidance on Demountable Composite Construction Systems for UK Practice. The Steel Construction Institute.
- [49] Romero A, Odenbreit C (2024). Innovative demountable steel-timber composite (STC) beams: Experimental full-scale bending tests. *Engineering Structures*, 318, 118599.
- [50] Bompá DV, Ungureanu V, Elghazouli AY, Afsal A (2024). Disassembly and Structural Reuse Potential of Steel-Timber Shear Connections with Screws. V. Ungureanu et al. (Eds.): CESARE 2024, LNCE 489, 1–12.
- [51] AISC Design Guide 37 (2022). Hybrid Steel Frames with Wood Floors. American Institute of Steel Construction.
- [52] ECCS N°145 (2024). State of art on Steel-Timber-(Concrete) Structures, 1st Edition, ECCS: European Convention for Constructional Steelwork, ISBN: 978-92-9147-199-7.

- [53] Ferdousa W, Baib Y, Ngoc TD, Manalod A, Mendisc P (2019). New advancements, challenges and opportunities of multi-storey modular buildings – A state-of-the-art review. *Engineering Structures* 183, 883–893.
- [54] Loss C, Piazza M, Zandonini R (2016). Connections for steel–timber hybrid prefabricated buildings. Part I: Experimental tests. *Construction and Building Materials* 122, 781–795.
- [55] Loss C, Piazza M, Zandonini R (2016). Connections for steel–timber hybrid prefabricated buildings. Part II: Innovative modular structures. *Construction and Building Materials* 122, 796–808.
- [56] Research Fund for Coal and Steel (RFCS): European pre-QUALified Steel JOINTS - EQUALJOINTS-PLUS, project number 754048 - RFCS-02-2016.
- [57] Equaljoints PLUS (2018): Information brochures for 4 seismically qualified joints. N° EQJ1-EN, 1st Edition, ECCS.
- [58] Equaljoints PLUS (2018): Pre-normative design recommendations for seismically qualified steel joints. N° EQJ2-EN, 1st Edition, ECCS.
- [59] ASCE 7-10 (2010). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. American Society of Civil Engineers, USA.
- [60] ANSI-AISC 341-10 (2010). *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*. American Institute of Steel Construction (AISC), USA.
- [61] ANSI/AISC 358-16 (2016). *Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications*. American Institute of Steel Construction (AISC), USA.
- [62] AISC 360-16 (2016). *Specification for Structural Steel Buildings*. American Institute of Steel Construction (AISC), USA.
- [63] Latour M, Piluso V, Rizzano G (2018). Experimental analysis of beam-to-column joints equipped with sprayed aluminium friction dampers. *Journal of Constructional Steel Research* 146, 33–48.
- [64] 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.



**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. Uudelleenkäytettävä 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.