



Rakennesuunnittelijan käsikirja

Hoitotasot, teräsprofiilit, liitokset ja standardien vaatimukset

Juho Nurmi

Opinnäytetyö, AMK

Toukokuu 2025

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Nurmi, Juho

Rakennesuunnittelijan käsikirja. Hoitotasot, teräsprofiilit, liitokset ja standardien vaatimukset.

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2025, 50 sivua

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Teollisuuden hoitotasojen suunnittelussa turvallisuus, yhteensopivuus ja rakenteellinen tehokkuus asetettiin keskiöön. Tavoitteena oli kehittää toimintamalli, joka mahdollisti hoitotasojen mitoituksen ja tietomallipohjaisen suunnittelun standardien, säädösten ja kestäväen kehityksen vaatimusten mukaisesti. Lisäksi pyrittiin vakioimaan ratkaisuja kokoamalla yleisesti käytössä olevat liitostyypit, teräsprofiilit ja materiaalilaadut sekä laatimalla jännevälikohtaisia profiilisuosituksia layout-suunnittelun tueksi.

Työ toteutettiin kolmivaiheisesti. Ensin koottiin viitekehys kirjallisuuskatsauksen avulla, jossa keskityttiin keskeisiin suunnittelustandardeihin ja säädöksiin. Toiseksi kerättiin ja analysoitiin asiantuntijahaastatteluja sekä tapauskohteen suunnitteludokumentteja. Kolmanneksi rakenteita analysoitiin FEM-menetelmällä käyttäen Autodesk Robot Structural Analysis-ohjelmistoa, ja laadittiin yhteenveto yleisimmistä profiili- ja liitosratkaisuista.

Tuloksissa havaittiin, että suunnitteluratkaisut perustuivat usein vakioituihin komponentteihin, mutta rakennesuunnittelu aloitettiin monesti ennen muiden suunnittelualojen päätöksiä, mikä johti lisätyöhön ja muutoskierroksiin. Jännevälikohtaiset profiilisuositukset ja käsikirjamalli vähensivät suunnittelun jälkikäteistä muokkausta ja tukivat yhteensovittamista.

Johtopäätöksenä todettiin, että rakennesuunnittelun reunaehdot kannattaa tuoda mukaan jo layout-suunnittelun alkuvaiheeseen. Vakioratkaisujen ja tietomallien hyödyntäminen tuki suunnittelun tehokkuutta ja vähensi virheitä. Käsikirjaa voidaan hyödyntää toimeksiantajan tulevilla hankkeilla ja kehittää edelleen muiden teollisuusrakenteiden suunnittelun tueksi.

Avainsanat (asiasanat)

rakennesuunnittelu, hoitotasot, teräsrakenteet, tietomallinnus, FEM-analyysi, standardit, kestävä kehitys, rakentamislainsäädäntö, layout-suunnittelu, suunnitteluprosessit

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Liitteet 5 ja 6 ovat salassa pidettäviä ja ne on poistettu työn julkisesta versiosta. Salassapidon perusteena on Julkisuuslain 621/199 24§, kohta 17, yrityksen liike- tai ammattisalaisuus. Salassapitoaika on 10 vuotta, salassapito päättyy 07.05.2035.

Nurmi, Juho

Structural designer's guide: access platforms, steel profiles, connections and regulatory requirements

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2025, 50 pages

Degree Programme in Construction and Civil Engineering. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

Safety, compatibility and structural efficiency were emphasized in the design of industrial access platforms. The objective was to develop an approach that enables structural dimensioning and BIM-based design of access platforms in accordance with applicable standards, regulations and sustainability requirements. In addition, the aim was to standardize commonly used joint types, steel profiles and material grades, and to create span-specific profile recommendations to support layout-design.

The study was carried out in three phases. First, a conceptual framework was built based on a literature review focusing on relevant design standards and legislation. Second, expert interviews and project documentation of a case study were analyzed. Third, structural performance was assessed using the FEM method with Autodesk Robot Structural Analysis, and a summary of commonly used profiles and connection types was compiled.

The findings showed that design solutions typically relied on standardized components, but structural design often had to begin before other disciplines had finalized their decisions. This resulted in rework and highlighted the need for improved interdisciplinary coordination. Span-specific profile recommendations and a practical design guide reduced late-stage modifications and supported cross-disciplinary consistency.

It was concluded that the efficiency and quality of design process can be significantly improved when structural constraints are introduced already at the layout design phase. The use of standardized solutions and BIM supports consistent design and helps reduce errors, which is especially important in the complex environment of industrial construction.

Keywords/tags (subjects)

structural design, access platforms, steel structures, building information modeling, FEM analysis, standards, sustainable development, building legislation, layout design, design processes

Miscellaneous (Confidential information)

Annexes 5 and 6 are confidential and have been removed from the public version of the thesis. The basis for confidentiality is Section 24, Paragraph 17 of the Finnish Act on the Openness of Government Activities (621/1999), concerning business or professional secrets. The confidentiality period is 10 years and will end on 07.05.2025

Sisältö

1	Johdanto	3
2	Tutkimusasetelma	4
3	Tietoperusta ja toimintaympäristö.....	5
3.1	Rakentamisen lainsäädännön uudistus ja suunnittelun reunaehdot	5
3.1.1	Rakentamisluvan uusi rakenne ja lupaprosessin digitalisaatio	6
3.1.2	Ilmastaselvitys osana lupavaihetta.....	7
3.1.3	Pätevyysvaatimukset ja suunnittelijan vastuut	7
3.2	Teollisuusrakentaminen	8
3.2.1	Teollisuusrakentamisen merkitys ja käyttökohteet	8
3.2.2	Kestävä kehitys teollisuusrakentamisessa.....	9
3.2.3	Digitalisaation vaikutus suunnitteluun	10
3.3	Teräsrakenteiden suunnittelu	12
3.3.1	Sähkökattilarakennusten suunnittelu.....	12
3.3.2	Hoitotasojen suunnittelu	13
3.3.3	Suunnitteluperusteet.....	16
3.3.4	Teräspalkkien mitoitusperiaatteet	22
3.3.5	Teräspilareiden mitoitusperiaatteet.....	25
3.3.6	Kestävä kehitys teräsrakenteiden suunnittelussa	28
3.4	Teollisuusrakentamisen erityispiirteet suunnittelun näkökulmasta	30
4	Tutkimusmenetelmät	32
4.1	Tutkimusote ja lähestymistapa	33
4.2	Kirjallisuuskatsaus	34
4.2.1	Rakenteellista suunnittelua ohjaavat standardit	34
4.2.2	Ilmastaselvitys ja ympäristösääntely	35
4.2.3	Digitalisaation ja tietomallien rooli.....	35
4.2.4	Lähdevalinta ja lähteiden dokumentointi.....	36
4.3	Dokumenttiaineiston analyysi.....	36
4.4	Haastattelut.....	37
4.5	Tapausanalyysi	37
4.6	Havainnoista analyysiin: teoriaohjaava lähestymistapa	38
4.7	Tutkimuksen luotettavuus ja eettisyys	38
5	Tulokset.....	39
5.1	Standardien ja lainsäädännön soveltaminen suunnittelussa, kestävä kehitys.....	39
5.2	Mitoitusperiaatteet ja rakenteelliset ratkaisut.....	40

5.3	Yhteensovitus muiden suunnittelualojen kanssa	41
5.4	Suunnittelijan pätevyyden osoittaminen	41
6	Johtopäätökset ja kehittämissuositukset.....	42
7	Yhteenveto.....	43
	Lähteet	45
	Liitteet	51
	Liite 1. Primääripalkin optimointi murtorajatilakuormille	51
	Liite 2. Haastatteluaineistojen tiedonkeruu.....	52
	Liite 3. Tiedonkeruu lähteistä.....	53
	Liite 4. Haastattelurunko.....	54
	Liite 5. Rakenteiden mitoitusaulukko (salassa pidettävä)	55
	Liite 6. Rakennesuunnittelijan käsikirja (salassa pidettävä)	56
	Kuviot	
	Kuvio 1: Eri suojakaidemallien etäisyysvaatimuksia (SFS-EN ISO 14122-3:2016, 14-15)	15
	Kuvio 2: Tutkimusmenetelmien keskinäiset suhteet.....	33
	Kuvio 3: Suunnitteluprosessin eteneminen	41
	Taulukot	
	Taulukko 1: Rakentamisluvan asiakirjavaatimusten muutokset MRL:n ja Rakentamislain välillä	6
	Taulukko 2: Rakentamisen käynnistyminen	8
	Taulukko 3: Seuraamusluokan mukaiset kuormakertoimet	18
	Taulukko 4: Eri ψ kertoimien arvot	19
	Taulukko 5: Eri rakenneosien taipumarajoja	22
	Taulukko 6: Eri teräslaatuojen myötö- ja vetomurtolujuudet	24
	Taulukko 7: Fossiilivapaalla energialla tuotetun kuumavalssatun teräksen myötö- ja vetomurtolujuudet eri teräspaksuuksilla	29
	Taulukko 8: Rasitusluokat ja tyyppilliset suojausmenetelmät.....	31

1 Johdanto

Teollisuusrakentamisessa korostuvat yhä enemmän turvallisuus, elinkaarikustannukset ja suunnitteluratkaisujen yhteensovittaminen eri suunnittelualojen välillä. Koneiden ja laitteistojen ympärille rakennettavat hoitotasot ovat olennainen osa turvallista ja toimivaa tuotantoympäristöä. Näiden rakenteiden suunnittelussa on huomioitava muun muassa koneturvallisuusstandardit, rakentamislainsäädäntö sekä teollisuusrakentamisen erityispiirteet, kuten suuret jännevälit ja tiivis tilankäyttö.

Yksi keskeinen haaste hoitotasojen suunnittelussa on layout- ja rakennesuunnittelun riittämätön yhteensovittaminen. Rakenteita joudutaan usein mitoittamaan ennen kuin laitteistosijoittelu, kanavoinnit tai kulkureitit on lopullisesti päätetty, mikä johtaa päällekkäiseen työhön ja mahdollisiin muutoksiin suunnittelun edetessä. Tämä lisää kustannuksia ja heikentää suunnittelun tehokkuutta.

Tämän työn tavoitteena oli kehittää suunnittelukäytäntöjä siten, että rakennesuunnittelun lähtökohdat voidaan tuoda mukaan jo layout-suunnitteluun alkuvaiheeseen. Erityisenä tavoitteena oli koota toimeksiantajalle ”Rakennesuunnittelijan käsikirja”, joka kokoaa yhteen yleisesti tietomallintamisessa käytetyt liitostyypit, teräsprofiilit, materiaalilaadut sekä jännevälikohtaiset profiilisuositukset tietomallintamisen tueksi. Lisäksi työssä pyrittiin vakioimaan ratkaisuja, jotka mahdollistavat kustannustehokkaan ja turvallisen mitoituksen sekä vähentävän suunnittelun muutostarpeita.

Työssä hyödynnettiin FEM-pohjasta rakenteiden analyysiä Autodesk Robot Structural Analysis-ohjelmistolla. Lisäksi tarkasteltiin, miten rakenteiden optimointi ja uusien vähähiilisten terästuotteiden käyttö voivat tukea kestävä kehityksen periaatteita ja täyttää ilmastaselvityksen vaatimukset.

Työ rajautuu hoitotasojen rakenteiden suunnitteluun. Kaiteet, portit ja tikkaan käsitellään vain siltä osin kuin standardit edellyttävät. Lopputuloksena syntyi käytännönläheinen ja toistettavissa oleva toimintamalli, jota voidaan hyödyntää toimeksiantajan tulevilla projekteilla rakenteiden suunnittelun tukena.

2 Tutkimusasetelma

Tavoitteena oli kehittää rakennesuunnitteluprosessia hoitotasojen osalta siten, että suunnittelu täyttää turvallisuus- ja säädösvaatimukset, tukee kestäväää kehitystä ja mahdollistaa yhteensopi-
vuuden muiden suunnittelualojen kanssa. Erityisenä tavoitteena oli laatia toimeksiantajalle ”Ra-
kennesuunnittelijan käsikirja”, joka kokoaa vakioituidet liitosratkaisut, yleisesti käytetyt teräsprofiilit
ja jännevälikohtaiset profiilisuositukset layout-suunnittelun tueksi.

Tutkimusongelma voidaan muotoilla seuraavasti: Kuinka hoitotasojen rakenteet voidaan suunni-
tella ja mitoittaa tehokkaasti ja säädösten mukaisesti siten, että suunnittelu tukee layout-suunnit-
telua, vakioratkaisuja ja vähentää rakennesuunnittelun päällekkäistä työtä?

Työssä pyrittiin vastaamaan seuraaviin kysymyksiin:

- Miten hoitotasot voidaan mitoittaa turvallisesti ja kustannustehokkaasti hyödyntäen FEM-
analyysia?
- Miten rakentamislaki (L 751/2023) ja koneturvallisuuden standardit vaikuttavat hoitotasojen suun-
nitteluratkaisuihin ja tietomallien sisältövaatimuksiin?
- Miten rakennesuunnittelun vakioratkaisut voivat tukea layout-suunnittelua ja vähentää suunnitte-
lun muutostarpeita?

Tutkimuksessa sovellettiin konstruktiivista tutkimusotetta, jossa kehitettiin käytännön ratkaisu
tunnistettuun ongelmaan. Konstruktiona toimii ”Rakennesuunnittelijan käsikirja”, johon koottiin
komponenttityypit ja ohjeet suunnitteluprosessin tueksi. Tutkimus toteutettiin kolmessa vai-
heessa:

1. **Teoreettinen viitekehys** muodostettiin lainsäädäntöön, standardeihin ja suunnitteluohjeisiin perus-
tuvan kirjallisuuskatsauksen avulla.
2. **Empiirinen aineisto** kerättiin asiantuntijahaastatteluilla sekä toimeksiantajalta saaduilla suunnitte-
ludokumenteilla (3D-mallit, suunnitelmat)
3. **Tekninen analyysi** toteutettiin FEM-laskennalla käyttäen Autodesk Robot Structural Analysis-ohjel-
mistoa. Laskenta kohdistui mm. taipumiin, vakavuuteen ja kuormitusten yhdistelyyn.

Tietoperusta ja tutkimusmenetelmät tukivat ongelman ratkaisua tuottamalla rakenteellisesti ja
säädösten mukaisesti perusteltua tietoa suunnitteluratkaisujen tueksi.

Tutkimuskohteena oli teollisuusrakennuskohde, johon liittyvät hoitotasot suunniteltiin tarkasti dokumentoitujen reunaehtojen ja käyttötilanteiden mukaan. Kohde valittiin sen ajankohtaisuuden ja edustavuuden vuoksi. Aineisto koostui toimeksiantajan toimittamista suunnitteluaineistoista sekä suunnittelun asiantuntijoiden haastatteluista. Haastatteluissa käsiteltiin suunnitteluprosessin haasteita, käytettyjä ratkaisuja ja näkemyksiä kehittämistarpeista.

Toimeksiantajaa ei nimetä, mutta kyseessä on monikansallinen, monialainen suunnittelutoimisto, joka toimii teollisuusrakentamisen sektorilla. Aineisto rajattiin käsittämään vain horisontaalisia hoitotasoja, eikä esimerkiksi portaita, kaiteita tai pitkän aikavälin käyttöolosuhteita, kuten väsymistä tai korroosiota, tarkasteltu tässä työssä.

Tutkimuksen luotettavuutta pyrittiin varmistamaan usealla keinolla. Tiedonhankinta perustui ensisijaisiin lähteisiin (lait, standardit, tekniset ohjeet) ja niiden käyttö dokumentoitiin tarkasti. Asiantuntijahaastattelut toteutettiin puolistrukturoituna, ja niistä tehtiin kirjalliset muistiinpanot, jotka analysoitiin teemoittain.

Dokumenttiaineiston luotettavuus perustui toimeksiantajan toimittamiin suunnitelmiin, joita oli jo hyödynnetty käytännön projekteissa. FEM-laskennassa käytettiin vakiintunutta ja luotettavaa Autodesk-ohjelmistoa, ja mitoitus pohjautui eurokoodien ja kansallisten liitteiden ohjeistuksiin. Tutkimuksen toistettavuutta parantaa se, että kaikki vaiheet ja menetelmät on dokumentoitu systemaattisesti. Tutkimustulokset ovat sovellettavissa vastaaviin rakenteisiin ja suunnittelutilanteisiin muissakin teollisuuskohteissa.

3 Tietoperusta ja toimintaympäristö

3.1 Rakentamisen lainsäädännön uudistus ja suunnittelun reunaehdot

Uusi Rakentamislaki (L 751/2023) astui voimaan 1.1.2025 korvaten Maankäyttö- ja rakennuslain (MRL 132/1999), jonka nimi on muuttunut vaihdoksen jälkeen Alueidenkäyttölainsäädännön uudistus n.d). Rakentamislain tavoitteena on parantaa rakentamisen laatua, selkeyttää toimijoiden vastuita, edistää rakentamisen digitalisaatiota ja tukea ilmastotavoitteiden saavuttamista. Laki korostaa suunnittelijoiden roolia ja vastuuta rakennushankkeen onnistumi-

sessä. Rakennesuunnittelijan näkökulmasta keskeisiä muutoksia ovat vaatimukset suunnitteluasiakirjojen digitaalisuudesta, ilmastaselvitykseen vaikuttavat suunnitteluratkaisut sekä tarkennetut pätevyys- ja vastuukysymykset. (L 751/2023; Rakentamislaki sujuvoittaa rakentamista ja edistää päästövähennyksiä ja kiertotaloutta n.d; RT 103789 2025)

3.1.1 Rakentamisluvan uusi rakenne ja lupaprosessin digitalisaatio

Rakentamisluvan rakenne on uudistettu siten, että siihen liitettävät asiakirjat – kuten rakennesuunnitelmat ja tietomallit – on laadittava digitaalisessa ja koneluettavassa muodossa. Tiedot toimitetaan valtakunnalliseen Rakennetun ympäristön tietojärjestelmään (Ryhti), joka mahdollistaa lupaprosessin tehostamisen ja yhtenäistämisen valtakunnallisesti. (L 431/2023; Ryhti-hanke n.d; Tiihonen 2023.)

Rakennesuunnittelijan näkökulmasta tämä tarkoittaa sitä, että suunnitteludokumenttien laatuun, esitystapaan ja yhteentoimivuuteen kohdistuu aiempaa korkeammat vaatimukset. Tietomallipohjaiset ratkaisut, määrämuotoiset tiedostot ja selkeät viittaukset standardeihin ja ohjeisiin ovat jatkossa olennainen osa hyväksyttävää lupa-aineistoa. (L 431/2023; Ryhti-hanke n.d; Tiihonen 2023.)

Lainmuutos tuo mukanaan merkittäviä muutoksia lupamenettelyyn ja suunnitteluaineistojen vaatimukseen. Taulukossa 1 on esitetty keskeiset erot rakentamisluvan sisällöstä Maankäyttö- ja rakennuslain (MRL 132/1999) ja Rakentamislain (L 751/2023) välillä.

Taulukko 1: Rakentamisluvan asiakirjavaatimusten muutokset MRL:n ja Rakentamislain välillä

Ominaisuus	MRL 132/1999	Rakentamislaki 751/2023
Asiakirjojen muoto	PDF / tulostettava	Koneluettava (esim. IFC)
Toimitustapa	Sähköposti / paperi	Ladattava rakennetun ympäristön tietojärjestelmään
Yhteentoimivuusvaatimukset	Ei määritelty	Standardimuoto vaaditaan
Tietomallien käyttö	Valinnaista	Pakollista keskeisissä osissa
Ilmastaselvityksen liittäminen	Ei vaadittu	Pakollinen

3.1.2 Ilmastaselvitys osana lupavaihetta

Rakentamislain 145 §:n mukaisesti rakentamishankkeeseen ryhtyvän on liitettävä rakennuslupaan ilmastaselvitys, jossa arvioidaan rakennuksen elinkaaren aikaiset kasvihuonekaasupäästöt. Selvitys perustuu rakennusosien määrätietoihin ja materiaalikohtaisiin päästökertoimiin, jotka johdetaan esimerkiksi ympäristöselosteista (EPD). Rakennesuunnittelija ei laadi koko ilmastaselvitystä, mutta hänen tekemänsä mitoitusratkaisut, materiaalivalinnat ja poikkileikkauspäätökset vaikuttavat merkittävästi lopputulokseen. (A 23.12.2024/1027; Vares, Häkkinen & Sulankivi 2015.)

Rakentamisluvan hiilijalanjälkeen liittyvät vaatimukset, kuten edellä mainittu ilmastaselvitys, tulevat voimaan 1. tammikuuta 2026 (Rakentamislaki sujuvoittaa rakentamista ja edistää päästövähennyksiä ja kiertotaloutta n.d). Ilmastaselvityksen ollessa osa rakentamisluvan edellyttämiä asiakirjoja, suunnitteluratkaisuilla on suora vaikutus lupaprosessissa vaadittavan ilmastaselvityksen hyväksyttävyyteen. Rakennesuunnittelijan työssä tämä voi tarkoittaa esimerkiksi optimaalisten poikkileikkausten valintaa rakenteissa ja materiaalihukan minimointia sekä materiaalinvalmistuksen innovaatioiden ja esivalmistettujen komponenttien hyödyntämistä. (A 23.12.2024/1027; L 751/2023; Maailman ensimmäinen fossiilivapaata terästä hyödyntävä rakennus tehtiin yhteistyöllä n.d.)

3.1.3 Pätevyysvaatimukset ja suunnittelijan vastuut

Maankäyttö- ja rakennuslaissa (MRL 132/1999) kelpoisuusvaatimukset ja vastuut määriteltiin yleisluontoisesti, kun taas Rakentamislaki (L 751/2023) tarkentaa vaatimuksia ja lisää vastuiden dokumentointivelvoitteita. Rakennesuunnittelijan tulee voida osoittaa suunnitelmiansa vaatimustenmukaisuus suhteessa lakiin, rakennusmääräyksiin ja hyvään rakentamistapaan. Tämä koskee sekä kantavien rakenteiden mitoitusta että rakenteiden yhteensopivuutta muiden suunnittelualojen kanssa. (A 17.6.2024/477; L 751/2023; MRL 132/1999.)

Lisäksi suunnittelijan on pystyttävä osoittamaan, että hänen laatimansa suunnitelmat tukevat rakennuksen käyttötarkoitusta ja mahdollistavat turvallisen, terveellisen lopputuloksen (L 751/2023). Resurssitehokkuus ja vähähiilisyys huomioidaan lisäksi Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukaisesti (A 23.12.2024/1027). Tämä dokumentoidaan hyväksytyissä suunnitelmissa ja viranomaisasioidinnissa, erityisesti digitaalisissa lupaprosesseissa.

Rakennesuunnittelijan vastuut kohdentuvat eri tavalla suunnitteluprosessin vaiheiden mukaan. Esimerkiksi luonnossuunnitteluvaiheessa korostuu alustavien ratkaisujen toteutettavuuden arviointi, rakennuslupavaiheessa vaatimustenmukaisuuden varmistaminen ja toteutus suunnitteluvaiheessa rakenteellisen turvallisuuden ja laadun yksityiskohtainen osoittaminen. (L 751/2023; RT 103087 2019). Vastuun dokumentointi tapahtuu muun muassa vastuuhenkilöiden nimeämisellä ja tietomallimuotoisten lupahakemusten käytöllä (L 751/2023; RT 103087 2019).

3.2 Teollisuusrakentaminen

3.2.1 Teollisuusrakentamisen merkitys ja käyttökohteet

Teollisuusrakentaminen muodostaa keskeisen osan Suomen rakennussektoria ja sen suhdetta muuhun rakennussektoriin on esitetty taulukossa 2. Se on myös elintärkeä osa teollisen tuotannon ja huoltovarmuuden infrastruktuuria (Teollisuus n.d) ja kattaa rakennukset sekä tilat, joita käytetään tuotantoon, jalostukseen, varastointiin ja energiantuotantoon. Rakenteellisesti teollisuusrakennuksille on ominaista suuret jännevälit, korkeat tilat ja massiiviset kuormitukset (Teollisuus- ja varastorakennukset n.d). Teollisuusrakennusten on oltava muunneltavia, helposti huollettavia ja turvallisia myös muuttuvissa käyttöolosuhteissa (A 20.1.2018/1007).

Taulukko 2: Rakentamisen käynnistyminen (Vihmo 2025)

	2024	2025	2026
Talonrakentamisen käynnistyminen, milj. m³	28,4	30,6	32,9
Asuinrakennukset	5,9	6,9	8,2
Vapaa-ajan rakennukset	0,6	0,6	0,6
Liike- ja toimistorakennukset	4,4	4,6	4,5
Julkiset palvelurakennukset	4,2	4,3	4,6
Teollisuus- ja varastorakennukset	9,5	10,6	11,5
Maatalousrakennukset	2,2	2,2	2,1
Muut rakennukset	1,5	1,5	1,5
Rakentaminen, määrän muutos, %	-8,0	4,0	6,0
Korjausrakentaminen	-4,0	1,0	1,0
Maa- ja vesirakentaminen	-3,0	3,0	2,0
Rakentamisen työllinen työvoima, henkilöä	173 000	175 000	178 000

Tyypillisiä teollisuusrakennuksia ovat tuotantohallit, logistiikkakeskukset, varastot, voimalaitokset ja kattilarakennukset, jotka ovat keskeisiä energiainfrastruktuurin osia (Teollisuus n.d). Niiden rakenteellinen suunnittelu edellyttää korkeaa teknistä tarkkuutta ja yhteensovittamista esimerkiksi raskaisiin prosessilaitteisiin, kulkureitteihin ja huoltotoimintoihin (SFS-EN 1993-1-1:2005; SFS-EN

ISO 14122-1:2016). Teräsrakenteet soveltuvat erityisen hyvin tällaisiin kohteisiin, sillä ne tarjoavat laajoja vapaita tiloja, hyvän kantavuuden ja mahdollistavat esivalmistuksen hyödyntämisen (Kestävät teräsrakenteet n.d).

Toiminnallinen muuntojoustavuus on keskeinen periaate teollisuusrakennusten rakennesuunnittelussa. Tuotantoprosessien tai teknisten järjestelmien muutokset edellyttävät rakenteilta kykyä muokautua (Sähkökattila saapui Kymijärven voimalaitokselle 2024). Tämä tarkoittaa, että välipohjia, kantavia seiniä tai jäykisteitä on sijoitettava harkiten, jotta myöhemmät muutokset ovat mahdollisia. Modulaarisuuteen ja yhdisteltäviin komponentteihin liittyvät suunnitteluratkaisut ovat yleistyneet erityisesti esivalmistuksessa ja tuotantotilojen joustavuuden takaamisessa (Mittava tuotantolaitos vaatii valtavan määrän suunnittelua 2023).

Teollisuusrakentamisessa suunnittelijan on kiinnitettävä erityisesti huomiota kuormituksiin. Rakenteet mitoitetaan huomioiden käyttökuormat, dynaamiset kuormat (esim. koneiden aiheuttamat värinät), varautumistarpeet ja käyttörajatilat (RIL 201-1-2017; SFS-EN 1993-1-1:2005). Kuormitusolosuhteet voivat poiketa huomattavasti tavanomaisesta, kun rakennukseen sijoitetaan raskaita säiliöitä, kattiloita tai värinää aiheuttavia koneita, joita ei asuinrakennuksissa ole. Tämä asettaa erityisiä vaatimuksia mitoitusperiaatteilla, kuten liitoksille, vakavuudelle ja palonkestävyydelle (SFS-EN 1993-1-2:2005; SFS-EN 1993-1-8:2005).

Energiamurros, vihreä siirtymä ja investoinnit uusiutuviin tuotantomuotoihin – kuten vety-, lämpöpumppu- ja bioenergiaratkaisuihin – kasvattavat teollisuusrakentamisen merkitystä (Hydrogen technologies and fuel cells research n.d; Turunen & Jääskeläinen 2021). Nämä teknologiat edellyttävät rakennusten rakenteellista sopeutumista uusiin laitetiloihin ja kulkureitteihin, mikä vaikuttaa myös kuormituksiin ja tilavaatimuksiin.

3.2.2 Kestävä kehitys teollisuusrakentamisessa

Kestävä kehitys on keskeinen periaate nykyaikaisessa teollisuusrakentamisessa. Rakennussektorilla on merkittävä vaikutus luonnonvarojen kulutukseen ja kasvihuonekaasupäästöihin, minkä vuoksi kestävyystavoitteet ulottuvat myös rakennesuunnitteluun (Mölsä 2021; Vähähiilinen rakentami-

nen n.d). Teollisuusrakentamisessa kestävyys ilmenee muun muassa materiaalitehokkuutena, kierrätettävyytenä, elinkaariajatteluna ja suunnitteluratkaisujen muuntojoustavuutena (RT 103170 2020).

Teräs on yksi teollisuusrakentamisen keskeisistä materiaaleista, ja se tukee kestävyystavoitteita erityisesti kierrätettävyytensä ja esivalmistuksen mahdollistaman materiaalitehokkuuden ansiosta (Tietoa teräksestä n.d). Lisäksi fossiilivapaiden terästen, kuten SSAB:n kehittämän HYBRIT-teknologialla valmistetun teräksen, käyttöönotto voi merkittävästi vähentää rakennushankkeen hiilijalanjälkeä (Fossiilivapaa teräs n.d; Sipola 2021).

Rakentamislain (L 751/2023) mukaan uudisrakentamishankkeisiin vaaditaan ilmastaselvitys vuoden 2026 alusta alkaen, joka sisältää rakennuksen elinkaaren aikaiset kasvihuonekaasupäästöt. Vaikka rakennesuunnittelija ei ole vastuussa koko selvityksen laadinnasta, hänen tekemänsä valinnat – kuten rakenneratkaisu, poikkileikkausmitoitukset ja materiaalimäärät – vaikuttavat suoraan ilmastaselvityksen tulokseen. Tieto materiaalien ympäristövaikutuksista perustuu yleensä ympäristöselosteisiin (EPD), joita hyödynnetään hiilijalanjäljen arvioinnissa (A 23.12.2024/1027; RT 103789 2025).

Tietomallipohjainen suunnittelu mahdollistaa määrätiedon tarkan hallinnan ja tuo läpinäkyvyyttä suunnittelun ympäristövaikutuksiin. Mallipohjainen laskenta helpottaa ilmastaselvityksen tuottamista ja mahdollistaa suunnitteluratkaisujen vertailun jo varhaisessa vaiheessa. (A 23.12.2024/1027; RT 103789 2025.)

3.2.3 Digitalisaation vaikutus suunnitteluun

Digitalisaatio on muuttanut rakennesuunnittelua merkittävästi erityisesti mallintamisen, tiedon siirron ja laskennan osalta. Sen vaikutukset korostuvat myös teollisuusrakentamisessa, jossa suunnittelun mittakaava ja tekninen monimutkaisuus edellyttävät tehokkaita työkaluja ja yhteentoimivuutta (Teollisuuden suunnittelupalvelut elinkaarihankkeisiin n.d; Tietomallinnus n.d).

Digitalisaatio tukee suunnittelun tarkkuutta, tiedonhallintaa, suunnittelualojen välistä yhteistyötä ja ympäristövaikutusten arviointia (Dodd, Donatello & Cordella 2021; Tietomallinnus n.d.).

Tietomallintaminen (BIM) on keskeinen digitalisaation väline. Se mahdollistaa rakenteiden ja järjestelmien visualisoinnin, määrätietojen tarkastelun ja törmäystarkastelut jo ennen rakentamisen aloittamista. Mallipohjainen suunnittelu auttaa ennakoimaan haasteita ja optimoimaan ratkaisuja, mikä parantaa rakennuksen toiminnallisuutta ja vähentää virheitä toteutusvaiheessa. (Teollisuuden suunnittelupalvelut elinkaarihankkeisiin n.d.; Tietomallinnus n.d.) Teollisuusrakennuksissa BIM tukee tilojen, prosessilaitteiden ja teknisten järjestelmien yhteensovittamista. Rakennesuunnittelijan näkökulmasta BIM parantaa muun muassa komponenttien sijoittelun hallintaa, kuormien koodinointia ja rakennusosien keskinäistä yhteensopivuutta. (Laadukasta tietoa kaikille n.d.; RT 10-11070 2012.)

Yksi digitaalisen rakennesuunnittelun merkittävimmistä työkaluista on FEM-laskenta (Finite Element Method). Se on yleisesti käytetty analyysimenetelmä, jonka avulla voidaan tarkastella rakenteiden mitoitusta eurokoodisarjan, kuten SFS-EN 1993-1-1:2005:n, esittämien periaatteiden mukaisesti. FEM-menetelmien avulla voidaan analysoida rakenteiden jännityksiä, muodonmuutoksia ja vakavuutta erilaisissa kuormitustilanteissa (Robot Structural Analysis n.d.). FEM-laskentaohjelmistot mahdollistavat 3D-mallien, kuormitusyhdistelmien ja rajatilamitoituksen tehokkaan tarkastelun. Mallinnettujen rakenteiden tulokset voidaan esittää visuaalisesti, ja analyysin avulla voidaan optimoida esimerkiksi hoitotasojen palkkien ja liitosten mitoitusta siten, että materiaalia käytetään mahdollisimman tehokkaasti. (Robot Structural Analysis n.d.)

FEM-ohjelmistot voidaan integroida osaksi tietomallipohjaista suunnittelua ja dokumentaatiota. Suunnitelmien yhtenäisyys ja muokattavuus parantuvat, kun rakenteelliset analyysit ja geometrian hallinta tapahtuvat samassa digitaalisessa ympäristössä. Lisäksi FEM-laskennan tuottamaa numeerista dataa voidaan hyödyntää ympäristöselvitysten tukena esimerkiksi materiaalitehokkuuden ja hiilijalanjalan arvioinnissa (Dodd ym. 2021). Materiaalimäärien tarkka mallipohjainen laskenta mahdollistaa ilmastonselvityksen tuottamisen jo suunnitteluvaiheessa. Tietomalleihin voidaan liittää myös elinkaaritietoa ja päästökertoimia, joiden avulla voidaan vertailla eri ratkaisujen hiilijalanjälkeä. (A 23.12.2024/1027; Lavikka & Kiviniemi n.d.)

Digitalisaation rooli korostuu myös sääntelyn näkökulmasta. Rakentamislain § 42 mukaan suunnitteluasiakirjojen on oltava sähköisiä ja koneluettavia (L 751/2023). Rakennetun ympäristön tietojärjestelmä (Ryhti) kokoaa rakennushankkeiden tiedot yhteen ja edellyttää, että muun muassa tietomallit ovat yhteentoimivia ja standardimuotoisia. (L 431/2023; Ryhti-hanke n.d.)

3.3 Teräsrakenteiden suunnittelu

3.3.1 Sähkökattilarakennusten suunnittelu

Sähkökattilarakennukset ovat teollisuuslaitosten infrastruktuuriin kuuluvia erityisrakennuksia, joiden tehtävänä on mahdollistaa suuritehoisten sähkökattiloiden turvallinen ja tehokas käyttö. Rakennussuunnittelussa korostuvat rakenteellinen kestävyys, käyttöturvallisuus, huoltomahdollisuudet ja energiataloudellisuus. Suunnittelu perustuu eurokoodistandardeihin, kansallisiin liitteisiin ja viranomaisohjeisiin.

Rakennusten kuormitusperusteet määritellään eurokoodien mukaan. Pysyvät kuormat, muuttuvat kuormat ja mahdolliset erikoiskuormat kuten laitteistojen omat massat, huoltokuormat ja tärinävoimat huomioidaan mitoituksessa (SFS-EN 1990:2002 + A1:2005 + AC2008, kohdat 1-4; SFS-EN 1991-1-1:2002 + AC:2009, kohdat 2–6). Erityishuomio on laitteiden mahdollisesti aiheuttamilla paikallisilla kuormituksilla, joiden vaikutukset kantaviin rakenteisiin mitoitetaan standardien mukaisesti. Rakennusten käyttörajatilojen tarkastelussa huomioidaan taipumarajat, värähtelyvaatimukset ja rakenteiden siirtymät pitkittäis- ja poikittaissuunnassa (SFS-EN 1990:2002 + A1:2005 + AC2008, kohdat 3.4 ja 6.5 sekä liite A1).

Rakenteellisessa suunnittelussa pääpaino on runkorakenteiden, kuten teräspilareiden ja -palkkien, sekä mahdollisten jäykistysrakenteiden mitoituksessa murtorajatilassa. Rakenteet mitoitetaan pääasiassa pysty- ja vaakasuorille kuormille, jotka voivat aiheutua esimerkiksi tuulesta, lämpöliikkeistä tai käyttötilanteiden epäsymmetrisistä kuormituksista. (SFS-EN 1993-1-1:2005, kohdat 5 ja 6). Rakennuksen kokonaisjäykkyys ja stabiilisuus varmistetaan vaakarakenteiden, seinäjäykisteiden tai erillisten jäykistystornien avulla. Jäykistysjärjestelmä siirtää vaakakuormitusten, kuten tuulen, aiheuttamat kuormat perustuksien kautta maapohjaan. (Jäykistysjärjestelmät 2010).

Sähkökattilarakennuksissa laitteiden sijoittelu ja huoltokäytävät vaikuttavat merkittävästi rakenteellisiin ratkaisuihin. Suunnittelussa on varmistettava riittävät vapaat tilat laitteiden asennusta, huoltoa ja myöhempiä laajennuksia varten. Rakennuksen sisäiset kulkureitit ja hoitotasot suunnitellaan Koneturvallisuus-standardisarjan (SFS-EN ISO 14122:2016) mukaisesti (Asiantuntija-4 2025). Kulkureittien vapaa korkeus tulee olla vähintään 2100 mm ja vapaan leveyden vähintään 800 mm. Vapaata korkeutta ja leveyttä voidaan tarvittaessa pienentää SFS-EN ISO 14122-2-standardin kohdassa 4.2.2 määritettyjen ehtojen perusteella.

Paloturvallisuus on olennainen osa sähkökattilarakennusten suunnittelua. Rakenteiden paloluokkavaatimukset määritellään käyttötarkoituksen, tilan riskitason ja viranomaismääräysten mukaisesti (A 28.11.2017/848; A 2.12.2020/927). Teräsrakenteiden palomitoitus voidaan tehdä käyttämällä palonkestäviä pinnoitteita, suojarakenteita tai vaihtoehtoisesti mitoittamalla rakenteet kestäväksi palokuormitus ilman lisäsuojauksia (SFS-EN 1993-1-2:2005, kohdat 4).

Kuumasinkityt rakenteet tarjoavat tehokkaan ja pitkäikäisen korroosiosuojan erityisesti ulko-olosuhteissa, joissa rakenteet altistuvat kosteudelle ja muille ympäristötekijöille. Ulko-olosuhteissa kuumasinkittyjen tuotteiden käyttöikä voi ylittää 50 vuotta sinkin kerrospaksuuden mukaan. (Hirn 2019, 55.) Standardi SFS-EN ISO 14713-1:2017 antaa yleiset ohjeet ja suositukset, joita käytetään teräsrakenteiden korroosioneston suunnittelussa.

3.3.2 Hoitotasojen suunnittelu

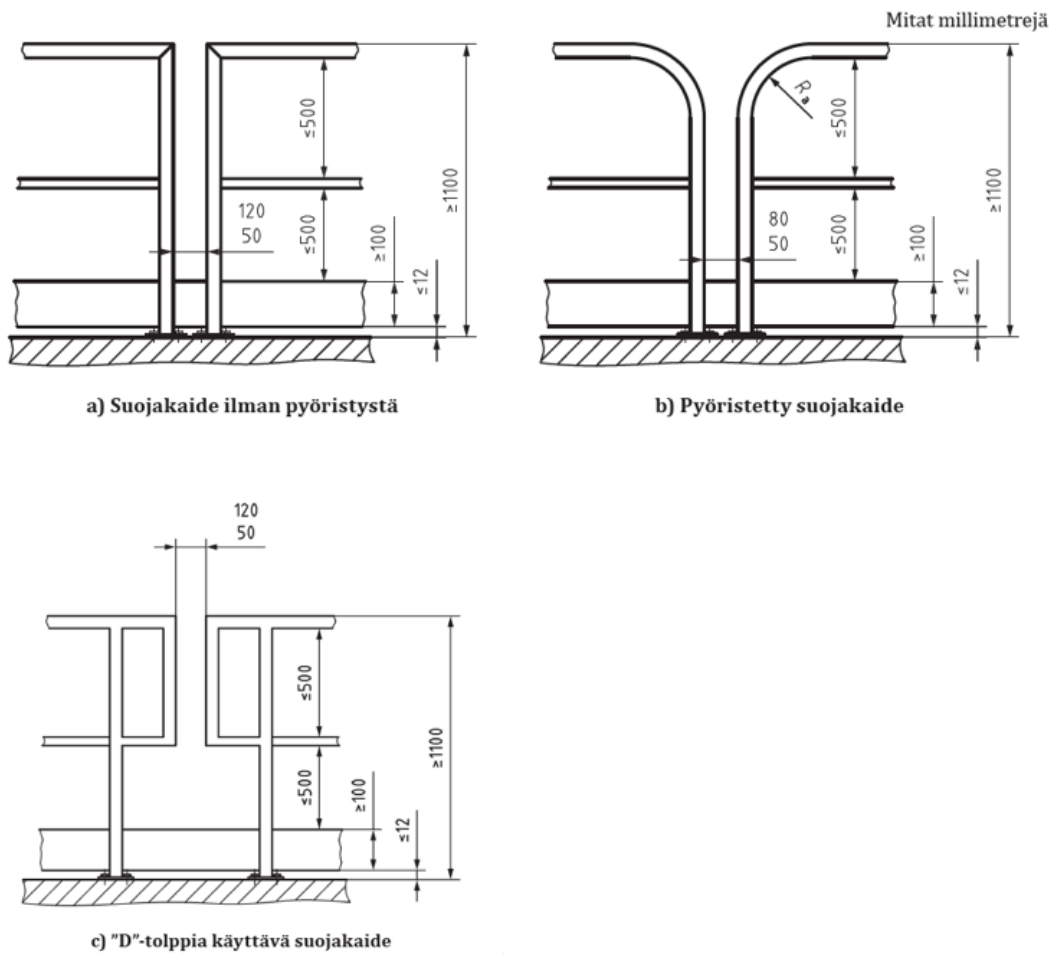
Hoitotasot ovat teollisuusrakenteiden kiinteitä kulkutasoja, joiden tarkoituksena on mahdollistaa turvallinen pääsy huollettaviin ja tarkastettaviin kohteisiin. Hoitotasojen suunnittelussa korostuvat turvallisuus, rakenteellinen toimivuus ja kestävyys. Suunnitteluperiaatteet perustuvat eurokoodeihin, viranomaismääräyksiin sekä rakennusalan ohjekortteihin.

Rakennerratkaisut muodostuvat kantavista pilari-palkkirakenteista, jotka mitoitetetaan kuormille murto- ja käyttörajatilassa. Sivuttaissiirtymien ja värähtelyjen estämiseksi runkorakenteiden riittävä jäykkyys on varmistettava (SFS-EN 1993-1-1:2005, kohdat 5 ja 6). Hoitotasojen palkkirakenteet koostuvat yleensä primääri- ja sekundääripalkeista (Asiantuntijahaastattelu_4).

Hoitotasojen mitoituksessa otetaan huomioon myös kuormitusvaatimukset ja käyttörajatilat. Teollisuuskohteissa hoitotasojen hyötykuorman ja paikallisen pistemäisen kuorman arvot määritetään hankekohtaisesti ottaen huomioon käytön aikaiset kuormitukset ja mahdolliset dynaamiset vaikutukset (RIL 201-1-2017, kohta 6.3.2.2, luokka E2).

Kulkureittien, tasojen, tikkaiden ja kaiteiden suunnittelu perustuu koneturvallisuuden standardisarjaan SFS-EN ISO 14122:2016 (Asiantuntijahaastattelu_4). Suunnittelussa tulee huomioida myös Ympäristöministeriön asetuksessa rakennuksen käyttöturvallisuudesta (A 20.1.2018/1007). Kulkureittien vapaa korkeus tulee olla vähintään 2100 mm ja vapaa leveys vähintään 800 mm, ellei poikkeusta voida perustella (SFS-EN ISO 14122-2:2016, kohta 4.2.2).

Suojakaide asennettava SFS-EN ISO 14122-3:2016 kohdan 7.1.2 ehtojen mukaisesti. Kaiteiden korkeuden tulee olla vähintään 1100 mm, ja niissä on oltava käsijohde, välijohde ja jalkalista. Kuviossa 1 on esitetty eri suojakaidemalleille määritetyjä minimi- ja maksimietäisyyksiä. Välijohteen ja jalkalistan välinen enimmäisväli on 500 mm (SFS-EN ISO 14122-3:2016, kohdat 7.1.3 ja 7.1.4). Tikkaiden puolavälin on oltava 225...300 mm (kuitenkin vakio) ja pituus, eli pystyjohteiden välinen etäisyys 400...600 mm (SFS-EN ISO 14122-4:2016, kohdat 5.2.2.2 ja 5.2.2.3). Mikäli nousukorkeus ylittää 3000 mm, on tikkaissa käytettävä selkäsuojaa tai putoamissuojausvälinettä. Putoamissuojausvälinettä käytetään vain tilanteissa, joissa selkäsuojan käyttäminen ei ole mahdollista esimerkiksi esteen takia. (SFS-EN ISO 14122-4:2016, kohta 4.2.)



Kuvio 1: Eri suojakaidemallien etäisyysvaatimuksia (SFS-EN ISO 14122-3:2016, 14-15)

Lattiarakenteeksi suositellaan esimerkiksi rutilöitä, jotka estävät nesteiden, jään ja lian kertymisen (SFS-EN ISO 14122-2:2016, kohta 4.2.4.3). Lattian liukkauden esto voidaan toteuttaa pintarakenteilla, joissa on riittävä kitkakerroin.

Materiaalivalinnassa huomioidaan rakenteiden sijainti. Säälle alttiit hoitotasot toteutetaan esimerkiksi säänkestävästä teräksestä (S355J2W) tai kuumasinkittämällä. Kuumasinkityksen tekniset vaatimukset määritellään standardissa SFS-EN ISO 1461:2022 ja soveltuvuus ulkokäyttöön korroosionkestävyyden osalta standardissa SFS-EN ISO 14713-1:2017. Lisäsuojauksena voidaan käyttää korroosionestomaalausta SFS-EN ISO 12944–standardisarjan mukaisesti määritettynä.

Kaikkien kiinnitysten, kuten pulttiliitosten ja hitsausten, mitoittamiseen käytetään eurokoodin SFS-EN 1993-1-8 ohjeita. Huomiota on kiinnitettävä liitosten lujuteen ja käyttöikäen erityisesti ulko-

olosuhteissa. Kiinnitykset tehdään joko pulttiliitoksien tai hitsaamalla eurokoodin standardin SFS-EN 1993-1-8 mukaisesti, ja niiden mitoituksessa huomioidaan sekä kuormitukset että leikkausvoimat.

3.3.3 Suunnitteluperusteet

Teräsrakenteiden suunnittelussa lähtökohtana ovat eurooppalaiset suunnittelustandardit eli eurokoodit. Suomessa eurokoodien soveltamista ohjataan kansallisilla liitteillä, kuten Rakenteiden lujuus ja vakaus – teräsrakenteet (2019), ja suunnittelun tueksi on julkaistu Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL:n ohjeistuksia.

Suunnitteluperusteet määrittelevät periaatteet, joilla rakenteiden turvallisuus, toiminnallisuus ja käyttökelpoisuus varmistetaan. Teräsrakenteiden suunnittelussa tarkastellaan murtorajatilojen, käyttörajatilojen ja kestävyuden lisäksi myös rakenteen stabiiliutta sekä kuormien vaikutuksia eri mitoitusilanteissa (SFS-EN 1993-1-1:2005 + A1:2014).

Suunnitteluun sovellettavia standardeja ja ohjeita ovat:

- SFS-EN 1990: Eurokoodien yleiset periaatteet
- SFS-EN 1991: Kuormat rakennuksille
- SFS-EN 1993: Teräsrakenteiden suunnittelu
- Ympäristöministeriön kansallinen liite, joka tarkentaa Suomen olosuhteisiin sovellettavat parametrit
- RIL 201-1-2017, joka sisältää ohjeet kuormituksista, yhdistelmistä ja osavarmuuskertoimista

Suunnittelussa käytetään osavarmuuskerroinmenetelmää, jossa materiaalin ja kuorman epävarmuudet kuorman epävarmuudet erotellaan. Eurokoodi määrittelee:

- murtorajatilat: rakenteen kantavuus kuormitushuippujen aikana
- käyttörajatilat: toiminnalliset rajat, kuten taipumat ja värähtelyt (SFS-EN 1990:2002 + A1:2005 + AC:2008)

Murtorajatilat, yleistä

Murtorajatilamitoitus käsittää useita eri rajatiloja, joista tässä opinnäytetyössä tarkastellaan rakenteiden kantavuuden kannalta merkittävimpiä:

- *EQU* – Rakenteen tai sen osan staattisen tasapainon menetys kokonaisuutena, kun tarkastelu perustuu jäykkänä kappaleena toimimiseen. Esimerkiksi rakennuksen jäykistysrakenteen kaatuminen, perustuksen kaatuminen (ei maapohjan pettämisestä johtuva)
- *STR* – Rakenteen tai rakenneosien sisäinen vaurioituminen tai liian suuri siirtymätila, kun kantavuutta rajoittaa rakennusmateriaalin lujuus. Esimerkiksi poikkileikkauksen ja liitosten mitoitus, sisäisten voimien kestävyys tarkastelu

Muita murtorajatilaluokkia, kuten GEO, FAT, UPL ja HYD, ei käsitellä tässä työssä, koska tarkastelu kohdistuu pääasiassa teräsrakenteisiin, joihin ei kohdistu geoteknisiä vaikutuksia eikä vaihtelu-kuormituksia merkittävässä määrin (RIL 201-1-2017, 39).

Valittuja murtorajatilaluokkia vastaa seuraavat mitoitusehdot:

- Staattisen tasapainon (*EQU*) mitoitusehto:
 - $E_{d,dst} \leq E_{d,stab}$ (mt. kaava 6.7)
- Sisäisen kantavuuden (*STR*) mitoitusehto:
 - $E_d \leq R_d$ (mt. kaava 6.8)

Näissä kaavoissa $E_{d,dst}$ on tasapainoa heikentävien kuormien vaikutusten mitoitusarvo, $E_{d,stab}$ on tasapainoa parantavien kuormien vaikutusten mitoitusarvo, E_d on kuormien vaikutuksen mitoitusarvo ja R_d on rakenteen kestävyysmitoitusarvo. (Mts. 37–39)

Murtorajatilat, mitoitus

Murtorajatilassa rakenteen tulee kestää sellaisten kuormien yhteisvaikutus, joiden voidaan realistisesti olettaa esiintyvän samanaikaisesti. Kuormitusyhdistelmien laatimisessa huomioidaan kuormien mitoitusarvot, jotka saadaan kuormien ominaisarvojen ja osavarmuuskertoimien avulla. (RIL 201-1-2017, 39)

Suomessa käytettävät kuormitusyhdistelmät perustuvat eurokoodiin SFS-EN 1990:2002 + A1:2005 + AC:2008 sekä sen kansalliseen liitteeseen, ja ne on esitetty tarkemmin RIL 201-1-2017-julkaisussa. Mitoituskuormien laskentaan sovelletaan seuraavia RIL 201-1-2017 mukaisia yhdistelytapoja tässä opinnäytetyössä:

- kaava 6.10S: rakennuksen staattisen tasapainon osoittaminen

- kaavat 6.10aS ja 6.10bS: rakenneosien kestävyys osoittaminen, kun geoteknisiä kuormia ei esiinny

Rakenteiden eri seuraamusluokat vaikuttavat kuormien yhdistelyssä käytettävään kuormakertoimeen K_{FI} , joka liittyy luotettavuuden tasoluokitukseen. RIL 201-1-2017 (39) mukaan tätä kerrointa sovelletaan normaalisti vallitsevien ja tilapäisten mitoitustilanteiden kuormayhdistelmissä, mutta sitä ei käytetä:

- käyttörajatilamitoituksessa
- väsytyksimitoituksessa
- onnettomuustilanteen yhteydessä

Seuraamusluokat ja niitä vastaavat kuormakertoimet on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3: Seuraamusluokan mukaiset kuormakertoimet (RIL 201-1-2017, taulukko 6.1S)

Kuormakerroin K_{FI}	Seuraamusluokka
1,1	CC3
1,0	CC2
0,9	CC1

Kuormien yhdistelyssä käytettävä ”+”-merkintä tarkoittaa kuormavaikutusten yhteenlaskua, jossa otetaan huomioon kuormien suunta ja merkki. Värähtelyt ja dynaamiset vaikutukset on otettava huomioon tilanteissa, joissa niiden vaikutus on merkityksellinen. (Mts. 39.)

Kuormituksen mitoitussarvot muodostetaan eri kuormitustilanteiden perusteella. Silloin, kun geotekniset kuormat eivät vaikuta rakenteeseen, murtorajatilamitoituksessa rakenneosien kestävyysvaikuttavien kuormien mitoitussarvo osoitetaan kaavoilla (mts. 40):

$$E_d = \frac{1,15K_{FI}}{0,9} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \gamma_P P + 1,5K_{FI} Q_{k,1} + 1,5K_{FI} \sum_{i > 1} \psi_{0,i} * Q_{k,i} \quad (\text{mt. kaava 6.10bS})$$

kuitenkin vähintään:

$$E_d = \frac{1,35K_{FI}}{0,9} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \quad (\text{mt. kaava 6.10aS})$$

missä RIL 201-1-2017 (39–41) mukaan:

- suurempi alkukerroin (kerroin 1,15 kaavassa 6.10bSM; kerroin 1,35 kaavassa 6.10aS) on epäedullisen vaikutuksen aiheuttavan pysyvän kuorman (G_k) tapauksissa, pienempi alkukerroin (kerroin 0,9 kaavassa 6.10bS ja kaavassa 6.10aS) on edullisen vaikutuksen aiheuttavan pysyvän kuorman (G_k) tapauksissa. Edullisen kuorman tapauksissa ei huomioida K_{FI} -kerrointa (mts. 40).
- K_{FI} on rakennuksen/rakenteen seuraamusluokan mukainen kuormakerroin, jotka on havainnollistettu taulukossa 4
- $G_{k,j}$ on pysyvät kuormat
- γ_p on esijännitysvoimien osavarmuuskerroin (ks. standardit EN1992-EN1996 ja EN 1998-EN 1999 mukaan) (mts. 41)
- P on esijännitysvoima (ks. standardit EN 1992-EN 1996 ja EN 1998-EN 1999 mukaan) (mts. 41)
- $Q_{k,1}$ on määräävä muuttuva kuorma
- $Q_{k,i}$ on muut muuttuvat kuormat
- $\psi_{0,i}$ on yhdistelykerroin, joka määritetään rakennus- ja kuormakohtaisesti taulukosta 4.

Taulukko 4: Eri ψ kertoimien arvot (RIL 207-1-2017, taulukko 1 (kansallinen liite))

Kuorma	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Hyötykuormat rakennuksissa, luokka (katso SFS-EN 1991-1-1)			
Luokka A: asuintilat	0,7	0,5	0,3
Luokka B: toimistotilat	0,7	0,5	0,3
Luokka C: kokoontumistilat	0,7	0,7	0,3
Luokka D: myymälätilat	0,7	0,7	0,6
Luokka E: varastotilat	1,0	0,9	0,8
Luokka F: liikennöitävät tilat, ajoneuvon paino ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6 ^{**})
Luokka G: liikennöitävät tilat, 30 kN < ajoneuvon paino ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3 ^{**})
Luokka H: vesikatot	0	0	0
Lumikuorma (katso SFS-EN 1991-1-3) ¹⁾ , kun			
$s_k < 2,75$ kN/m ²	0,7	0,4	0,2
$s_k \geq 2,75$ kN/m ²	0,7	0,5	0,2
Jääkuorma ^{***)}	0,7	0,3	0
Rakennusten tuulikuormat (SFS-EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Rakennusten sisäinen lämpötila (ei tulipalossa) (SFS-EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
Pakkomuodonmuutokset	1,0	1,0	1,0
Tukien painumat	1,0	1,0	1,0

Käyttörajatilat, yleistä

Käyttörajatiloina tarkoitetaan rakenteen tilaa, jossa sen toiminta, ulkonäkö tai käyttömukavuus heikentyy merkittävästi, vaikka varsinainen kantavuus ei vielä vaarannu. Rakenteen on pysyttävä käyttökelpoisena kaikissa käyttöolosuhteissa, eikä se saa aiheuttaa epämiellyttäviä kokemuksia, kuten liiallista taipumaa, värähtelyä tai pysyviä muodonmuutoksia. Käyttörajatiloin huomiointi

korostuu erityisesti rakennustyypeissä, joissa tarkkuus, käyttömukavuus ja esteettisyys ovat kriittisiä, kuten teollisuusrakentamisessa, toimistorakennuksissa ja julkisissa tiloissa. (SFS-EN 1990:2002 + A1:2005 + AC:2008, kohta 3.4; RIL 201-1-2017 42.)

Teollisuusrakennusten kohdalla käyttörajatilojen hallinta liittyy suoraan toiminnalliseen turvallisuuteen ja käytettävyyteen. Esimerkiksi liialliset taipumat hoitotasolla voivat vaikuttaa laite-toimintojen vakauteen tai aiheuttaa käyttömukavuuden heikkenemistä. Rakennesuunnittelijan tehtävänä on varmistaa, että rakenteet pysyvät käyttökelpoisina kuormituksen aikana ja sen jälkeen, ja että palautumattomia muodonmuutoksia ei synny hyväksyttävien raja-arvojen ylityttyä. (RIL 201-1-2017, 42.)

Käyttörajatilojen arviointi perustuu määräävien käyttötilanteiden mukaisiin kuormitusyhdistelmiin ja materiaalin käyttäytymiseen pitkäaikaisessa kuormituksessa. Suunnittelun tavoitteena on rajoittaa rakenteet siirtymät, värähtelyt ja pysyvät muodonmuutokset ennalta määriteltyjen raja-arvojen alapuolelle. Näitä rajoja käsitellään RIL 201-1-2017-julkaisussa muun muassa taipumien ja ominaistaajuuden osalta. (Mts. kohta 6.5.2, 42–44.)

Käyttörajatilatarkastelut ovat kiinteä osa rakenteiden kokonaisvaltaista toimivuuden ja kestävyysvarmistamista. Ne täydentävät murtorajatilatarkasteluja varmistamalla rakenteen käyttökelpoisuuden koko suunnitellun elinkaaren ajan. (Mts. 42–44.)

Käyttörajatilamitoituksessa huomioon otettavia käyttörajatiloja voivat olla esimerkiksi ulkonäköön ja käyttäjien mukavuuteen vaikuttavat siirtymät ja värähtelyt sekä säilyvyyteen tai rakenteen toimivuuteen kielteisesti vaikuttavat vauriot. Palautuva ja palautumaton käyttörajatila tulee erottaa toisistaan. (Mts. 42.)

Käyttörajatilat, mitoitus

Käyttörajatilojen mitoitus perustuu periaatteeseen, jonka mukaan rakenteen kuormituksen aiheuttaman vasteen (E_d) tulee pysyä hyväksyttävän raja-arvon (C_d) alapuolella:

$$E_d \leq C_d \text{ (RIL 201-1-2017, kaava 6.13)}$$

Taulukko 5: Eri rakenneosien taipumarajoja (Rakenteiden lujuus ja vakaus – Teräsrakenteet 2019, taulukko 3)

Rakenne	Taipuman tai siirtymän raja-arvo
Pääkannattajat	
- vesikatoissa ja katoksissa	$L/300$
- välipohjissa	$L/400$
Ulokkeet	$L/150$
Katto-orret	$L/200$
Seinäorret	$L/150$
Muotolevyt	
- katoissa, joissa ei ole vesikeräytymien tai katteen vaurioitumisen vaaraa	$L/100$
- katoissa, joissa vesikeräytymien tai katteen vaurioitumisen vaara on olemassa	
- kun $L \leq 4,5$ m	$L/150$
- kun $4,5 \text{ m} < L \leq 6,0$ m	30 mm
- kun $L > 6,0$ m	$L/200$
- välipohjissa	$L/300$
- seinissä	$L/100$
- ulokkeissa	$L/100$
Rakenteen vaakasiirtymän rajatila	
- 1 ja 2 kerroksiset rakennukset	$H/150$
- muut rakennukset	$H/400$
L on jänneväli	
H on rakennuksen tarkasteltavan kohdan korkeus	
Rakennukset, jossa on nosturirata, katso standardi SFS-EN 1993-6 ja sen kansallinen liite.	

3.3.4 Teräspalkkien mitoitusperiaatteet

Teollisuusrakentamisessa teräspalkit muodostavat rakenteellisen rungon, joka kantaa merkittäviä kuormia ja mahdollistaa laajoja, esteettömiä tilaratkaisuja. Tyypillisesti palkit mitoitetaan pääasiassa taivutusrasitukselle altistuvina rakenneosina. Palkkien mitoituksessa on tärkeää huomioida murtorajatilat, käyttörajatilat sekä vakavuus, joiden tarkasteluun sovelletaan eurokoodia SFS-EN 1993-1-1:2005, kansallista liitettä (Rakenteiden lujuus ja vakaus – Teräsrakenteet 2019) sekä RIL 201-1-2017-ohjeistusta.

Murtorajatila

Palkkien mitoituksessa ensimmäinen vaihe on määrittää poikkileikkausluokka, joka vaikuttaa suoraan siihen, mitä kaavoja ja mitoitusperiaatteita voidaan soveltaa. Eurokoodin SFS-EN 1993-1-1:2005 kohdan 6 mukaan poikkileikkausluokat jaetaan neljään luokkaan niiden lommahdusherkyyden perusteella:

- Luokka 1: Poikkileikkaus saavuttaa ja kykenee ylläpitämään plastisen momentin ilman lommahduksia.
- Luokka 2: Poikkileikkaus saavuttaa plastisen momentin, mutta ei kykene ylläpitämään plastista tilaa laajasti.
- Luokka 3: Poikkileikkaus saavuttaa myötörajan jossain kohdassa, mutta lommahdus estää plastisen tilan muodostumisen. Soveltuu elastiseen mitoitukseen.
- Luokka 4. Poikkileikkauslommahdus alkaa ennen materiaalin myötöä. Laskennassa käytetään tehollisia arvoja A_{eff} (mm²), W_{eff} (mm³).

Poikkileikkausluokka vaikuttaa taivutus- ja leikkauskestävyyden mitoitusperiaatteisiin sekä rakenteen optimointiin. Luokan 1–2 profiileissa voidaan käyttää plastista kapasiteettia, kun taas luokissa 3–4 kapasiteetti lasketaan rajoitetummin. Luokan 4 profiileissa tulee lisäksi huomioida lommahduskorjaukset SFS-EN 1993-1-5–standardin mukaisesti. (SFS-EN 1993-1-1:2005, 48–49).

Palkkien murtorajatilatarkasteluissa selvitetään rakenteen kantavuus äärikuormitustilanteissa. Keskeisiä mitoituskriteerejä ovat taivutuskestävyys, leikkauskestävyys ja niiden yhteisvaikutus:

- Taivutuskestävyys:
 - Poikkileikkausluokat 1–2: $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}}$ (SFS-EN 1993-1-1:2005, kaava 6.13)
 - Poikkileikkausluokka 3: $M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} * f_y}{\gamma_{M0}}$ (mt. kaava 6.14)
 - Poikkileikkausluokka 4: $M_{c,Rd} = \frac{W_{eff,min} * f_y}{\gamma_{M0}}$ (mt. kaava 6.15)
- leikkauskestävyys: $V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}}$ (mt. kaava 6.18)
- Yhteisvaikutusehto: $\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} + \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$ (mt. kohta 6.2.1, 49)
- missä $M_{c,Rd}$ on poikkileikkauksen taivutuskestävyys (Nm), W_{pl} on plastinen taivutusvastus (mm³), W_{el} on elastinen taivutusvastus (mm³), f_y on teräksen myötölujuus (MPa), γ_{M0} on osavarmuuskerroin murtorajatilassa, $V_{c,Rd}$ on poikkileikkauksen leikkauskestävyys (N), A_v on leikkausvaikutukseen osallistuva poikkileikkauksala (mm²), M_{Ed} on taivutusmomentin mitoitusarvo (Nm) ja V_{Ed} on leikkausvoiman mitoitusarvo

Yhteisvaikutuksen tarkastelua on sovellettava erityisesti silloin, kun $V_{Ed} > 0,5 * V_{c,Rd}$, jolloin leikkaus vaikuttaa taivutuskapasiteetin mitoitukseen merkittävästi (mt. kohta 6.2.8, 57).

Taulukossa 6 on esitetty eri teräslaatuojen myötö- ja vetomurtolujuuksia eri nimellispaksuuksille.

Taulukko 6: Eri teräslaatuojen myötö- ja vetomurtolujuudet (SFS-EN 1993-1-1:2005, Taulukko 3.1: Kuumavalsattujen rakenneterästen myötörajan f_y ja vetomurtolujuuden f_u nimellisarvot)

Standardi ja teräslaji	Nimellispaksuus t [mm]			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]
EN 10025-2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	410	550

Palkkien vakavuustarkastelulla tarkoitetaan erityisesti kiepahduksen arviointia. Tämä ilmiö liittyy taivutettuun rakenteeseen, jonka puristettu ylävyyö ei ole jatkuvasti tuettu sivusuunnassa tai vääntöä vastaan. Tällöin koko poikkileikkaus voi siirtyä sivusuuntaan ja samalla kiertyä – tämä heikentää palkin taivutuskestävyyttä olennaisesti.

SFS-EN 1993-1-1:2005 mukaan kiepahdusta on tarkasteltava, kun palkin geometrian, kuormituksen ja tuennan perusteella siihen liittyy epästabiiliuden riski. Vakavuus tarkastellaan seuraavan suunnittelukaavan avulla:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} * W_y * \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \text{ (mt. kaava 6.55)}$$

missä $M_{b,Rd}$ on poikkileikkauksen kiepahduskestävyyden mitoitusarvo (Nm), χ_{LT} on kiepahduskestävyyden pienennystekijä, f_y on teräksen myötölujuus (MPa) ja γ_{M1} on osavarmuuskerroin vakavuustarkastelussa. Kiepahdustarkastelussa taivutusvastus W_y määräytyy SFS-EN 1993-1-1:2005 mukaan poikkileikkausluokakohtaisesti seuraavalla tavalla:

- Poikkileikkausluokat 1-2: $W_y = W_{pl,y}$
- Poikkileikkausluokka 3: $W_y = W_{el,y}$
- Poikkileikkausluokka 4: $W_y = W_{eff,y}$

Käyttörajatila

Käyttörajatilojen yleiset periaatteet, kuten mitoitusehto ja tarkastelun tavoitteet on esitetty raportin luvussa 2.3.1. Käyttörajatilat ovat olennainen osa teräspalkkien mitoitusta, erityisesti rakenteen käyttömukavuuden, ulkonäön ja pitkäaikaisen toimivuuden kannalta. Tasaisesti kuormitettujen palkkien taipumaa voidaan arvioida esisuunnitteluvaiheessa Mäkelä, Soininen, Tuomola & Öistämö (2008, 148) esittämällä lujuusopin kaavalla:

$$\delta = \frac{5Fl^4}{384EI}$$

missä δ on taipuma (mm), F on tasainen kuorma (N/mm), l on jänneväli (mm), E on teräksen kimmo-moduuli (N/mm²) ja I on poikkileikkauksen jäyhyysmomentti (mm⁴). Tarkempi kokonaistaipuman arviointi on kuitenkin suoritettava SFS-EN 1990 liitteen A1 kohdan A1.4.2 mukaisesti (Rakenteiden lujuus ja vakaus – Teräsrakenteet 2019, 18).

Käyttörajatilaan liittyviä ilmiöitä taipuman lisäksi on esimerkiksi värähtelyt, kutistuma ja lämpöliikkeet. Nämä rajoitteet voivat vaikuttaa poikkileikkausvalintaan jopa enemmän kuin murtorajatilat, erityisesti käyttäjä- tai laiteherkissä ympäristöissä. (RIL 201-1-2017; SFS-EN 1990:2002 + A1:2005 + AC:2008.)

3.3.5 Teräspilareiden mitoitusperiaatteet

Teräspilarit mitoitetaan pääasiassa puristusrasitukselle. Niihin voi kuitenkin kohdistua myös taivutusta, leikkausta ja yhdistettyjä kuormituksia. Pilarin mitoitus perustuu samoihin standardeihin ja ohjeisiin kuin palkkien mitoitus. Samoin kuin palkkien kohdalla, mitoitus jakautuu murtorajatilojen, vakavuuden ja käyttörajatilojen arviointiin.

Murtorajatila

Poikkileikkausluokan määrittely on ensivaihe myös pilareiden mitoituksessa. Se vaikuttaa siihen, voidaan plastista kapasiteettia hyödyntää vai tuleeko käyttää elastista analyysiä tai tehollisia arvoja. Pilareiden kohdalla lommahduserkkyys korostuu erityisesti ohytlevyppoikkileikkauksissa tai korkeissa rakenteissa. (SFS-EN 1993-1-1:2005, kohta 5.5.)

Pilarin suunnittelussa murtorajatilat muodostavat perustan kantavuuden arvioinnille. Yleisin tarkastelu koskee aksiaalista puristusta, mutta myös taivutuksen ja puristuksen yhteisvaikutus on huomioitava erityisesti silloin, kun pilarit ovat vinoja, epäsymmetrisesti kuormitettuja tai joustavasti tuettuja.

Eurokoodin SFS-EN 1993-1-1:2005 kohdan 6.2.4 mukaan poikkileikkauksen puristuskestävyyden mitoitusarvo määritetään seuraavasti:

- Poikkileikkausluokissa 1-3: $N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ (mt. kaava 6.10)
- Poikkileikkausluokassa 4: $N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ (mt. kaava 6.11)

missä $N_{c,Rd}$ on poikkileikkauksen puristuskestävyyden mitoitusarvo (N), A on poikkileikkauksen pinta-ala (mm^2), f_y on materiaalin myötölujuus (MPa) ja γ_{M0} on osavarmuuskerroin. Jos poikkileikkaus on epäsymmetrinen ja kuuluu luokkaa 4, on otettava huomioon painopisteakselin epäkeskisyydestä aiheutuva lisämomentti ΔM_{Ed} (SFS-EN 1993-1-1:2005, kohdat 6.2.9.3 ja 6.2.2.4(4)).

Mikäli pilariin kohdistuu puristuksen lisäksi taivutusta (esimerkiksi tuulikuorman seurauksena), poikkileikkauksen kestävyden arviointi perustuu SFS-EN 1993-1-1:2005 kohdan 6.2.9 periaatteisiin. Poikkileikkauksen kestävyttä tarkastellaan mitoituksen perusperiaatteiden mukaisesti, poikkileikkaukseen vaikuttavien voimien yhteisvaikutus ei saa ylittää poikkileikkauksen kapasiteettia.

Analyysissä huomioidaan:

- poikkileikkausluokka: määrittää voidaanko soveltaa plastista vai elastista analyysiä.
- jännitys jakauma: määritetään aksiaalisen puristuksen ja taivutuksen yhteisvaikutuksesta.
- kapasiteettikriteeri: poikkileikkauksen sallittu kokonaisjännitystaso ei saa ylittyä.

Plastisessa analyysissä (poikkileikkausluokat 1 ja 2) voidaan olettaa olevan tasainen jännitys-kauma ja käyttää plastisen momentin arvoja (SFS-EN 1993-1-1:2005). Elastisessa analyysissä (poikkileikkausluokat 3 ja 4) kapasiteetti tarkistetaan poikkileikkauksen elastisen kestävyuden perusteella.

Pilareiden vakavuus tarkoittaa niiden kykyä vastustaa nurjahdusta. Eurokoodin SFS-EN 1993-1-1:2005 kohdan 6.3.1 mukaan rakenteen nurjahduskestävyys tulee varmistaa vakavuusanalyysin avulla, kun puristettu rakenneosaa on altis epästabiilille käyttäytymiselle.

Eri nurjahdusmuotoja voidaan luokitella SFS-EN 1993-1-1:2005 kohdan 6.3.1 mukaan

- aksiaalinen nurjahdus (yksisuuntainen taivutusnurjahdus)
- taivutusnurjahdus
- vääntönurjahdus
- yhdistetty taivutus-vääntönurjahdus

Vakavuusanalyysissä määritetään pilarin nurjahduskestävyys standardin SFS-EN 1993-1-1:2005 mukaisella kaavalla:

- Poikkileikkausluokat 1–3: $N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$ (mt. kaava 6.47)
- Poikkileikkausluokka 4: $N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$ (mt. kaava 6.48)

missä $N_{b,Rd}$ on poikkileikkauksen nurjahduskestävyyden mitoitusarvo (N), γ_{M1} on osavarmuuskerroin vakavuustarkastelussa ja χ on nurjahduskestävyyden pienennystekijä, joka määräytyy hoikkuuden, nurjahduspituuden ja reunaehtojen perusteella). Nurjahduspituuden määrittely on kriittinen, koska se vaikuttaa suoraan hoikkuuteen ja näin nurjahduskestävyyteen. Nurjahduspituus voidaan määrittää Rakenteiden lujuus ja vakaus – Teräsrakenteet (2019, 15) mukaan johtamalla se lujuusopin kaavoista. Mäkelä ym. (2008, 142) esittävät nurjahdusvoiman kaavaksi:

$$F_n = \frac{\pi^2 EI}{l_n^2}$$

josta johtamalla

$$l_n = \sqrt{\frac{\pi^2 EI}{F_n}}$$

missä l_n on nurjahduspituus (mm) ja F_n nurjahdusta aiheuttava voima. Eurokoodi 3 esittää nurjahduspituuden avulla määritettävän nurjahduskestävyyden pienennystekijä eri kuormitustyypeille (SFS-EN 1993-1-1:2005, kohta 6.3.1).

Käyttörajatila

Vaikka pilarit ovat ensisijaisesti puristettuja rakenneosia, myös käyttörajatilat tulee huomioida. Pitkissä pilareissa pysyvä painuma voi aiheuttaa ongelmia koneiden asennustarkkuudelle tai yhteensopivuudelle muiden rakenneosien kanssa. Käyttörajatila voi koskea esimerkiksi seuraavia tapauksia:

- pilarin pään siirtymä vaakasuunnassa tai pystysuunnassa
- muodonmuutoksen vaikutus rakenteellisiin liitoksiin
- rakenteen epäsymmetrian aiheuttama taipuma

Esimerkiksi mastopilarin pään siirtymää (pilarin taipumaa) voidaan arvioida Mäkelä ym. (2008, 147) esittämällä lujuusopin kaavalla:

$$\delta = \frac{Fl^3}{6EI}$$

Pilareiden sallitut taipumien raja-arvot, kohdassa rakenteen vaakasiirtymän rajatila, voidaan määrittää taulukossa 5 esitetyille rakennustyypeille tai määritellä tapauskohtaisesti tilaajan vaatimusten ja rakennustyyppin mukaan.

3.3.6 Kestävä kehitys teräsrakenteiden suunnittelussa

Kestävä kehitys on olennainen osa nykyaikaista rakennesuunnittelua ja se tulee ottaa huomioon jo suunnitteluprosessin alkuvaiheessa. Kestävyyden kannalta keskeisiä näkökohtia ovat materiaalitehokkuus, pitkä elinkaari, huollettavuus, kierrätettävyys ja mahdollisuus rakenneosien uusiokäyttöön. Teräs on pitkäikäinen ja 100-prosenttisesti kierrätettävä rakennusmateriaali, mikä tukee

kiertotalouden periaatteita ja vähentää rakennusjätteen määrää. (Rakennusmateriaalien kierrätys vähentää ilmastopäästöjä ja jätettä 2024; Otamme käyttöön kokonaisvaltaisen elinkaarimallin, n.d.)

Ympäristövaikutusten kannalta merkittävää on, että teräksen tuotanto voi olla erittäin energiain-
tensiivistä. Viime vuosina kehitetyt fossiilivapaat ja fossiilivapaalla energialla tuotetut teräkset, tar-
joavat mahdollisuuden merkittävään päästövähennykseen ilman, että rakenteiden suorituskyky
kärsii. Ennen täysin fossiilivapaasti tuotetun teräksen markkinoille tulemistä voidaan hyödyntää
esimerkiksi terästä, joka on valmistettu kierrätetystä teräksestä fossiilivapaalla energialla. (Fossiili-
vapaa teräs n.d.) Kyseisen teräksen myötö- ja vetomurtolujuuksia on esitetty taulukossa 7. Fossiili-
vapaalla energialla tuotetun ominaisuudet vastaavat perinteisellä tavalla tuotetun teräksen omi-
naisuuksia. Tämä tukee entisestään vähähiilisen rakentamisen tavoitteita. Rakennesuunnittelijan
valinnoilla – esimerkiksi vähähiilisten terästen, optimaalisen poikkileikkausmuotojen ja materiaali-
tehokkaiden liitosten hyödyntämisellä – on keskeinen rooli ilmastovaikutusten hillitsemisessä. (Fos-
siilivapaa teräs n.d; L/751/2023; SFS-EN 1993-1-1:2005.)

Taulukko 7: Fossiilivapaalla energialla tuotetun kuumavalssatun teräksen myötö- ja
vetomurtolujuudet eri teräspaksuuksilla (SSAB S355J2+N Zero)

Thickness (mm)	Yield strength (min MPa)	Tensile strength (MPa)
6.00 - 16.00	355	470 - 630
16.01 - 40.00	345	470 - 630
40.01 - 60.00	335	470 - 630

Tietomallipohjainen suunnittelu auttaa seuraamaan ja arvioimaan käytettyjen materiaalien määriä
ja ympäristövaikutuksia rakennushankkeissa. FEM-laskentaohjelmistot ja rakennusten tietomallit
mahdollistavat rakenteiden optimoinnin, materiaali-kohtaisten päästötietojen liittämisen suunni-
telmiin ja helpottavat ilmastaselvityksen laatimista rakennuksen hiilijalanjäljen arvioimiseksi. (La-
vikka & Kiviniemi 2023; Nöjd 2022; Partala 2022; A 23.12.2024/1027.)

Suunnittelussa tulee huomioida myös rakenteiden elinkaaren aikainen kunnossapito ja mahdollinen purku tai uudelleenkäyttö. Rakennusten ja niiden osien suunnittelu pitkäikäisiksi ja uudelleenkäytettäviksi tukee materiaalien kiertoa ja vähentää ympäristövaikutuksia. Purkukelpoiset ja uudelleenasennettavat ratkaisut mahdollistavat rakennusosien talteenoton ja uudelleenkäytön, mikä vähentää kokonaispäästöjä sekä jätteen syntymistä. Uuden rakentamislain (L 751/2023 mukaan purkuhankkeissa tulee laatia purkumateriaali- ja rakennusjätteselvitys, joka edistää materiaalien uudelleenkäyttöä ja kierrätystä. Nämä tekijät linkittävät rakennesuunnittelun osaksi laajempaa kestävän kehityksen ja kiertotalouden viitekehystä. (L 753/2023; Rakennusmateriaalien kierrätys vähentää ilmastopäästöjä ja jätettä. 2024; Rakennusmateriaalien uudelleenkäyttö, kierrätys ja jätehuolto 2022; Rakentamisen kiertotalous n.d.)

3.4 Teollisuusrakentamisen erityispiirteet suunnittelun näkökulmasta

Teollisuusrakentaminen poikkeaa merkittävästi muista rakennustyypeistä, kuten asuin- ja liiketilarakentamisesta, erityisesti rakennesuunnittelun näkökulmasta. Teollisuusrakennuksille ominaisia erityispiirteitä ovat suuret jännevälit, suuret sisäkorkeudet, raskaat pistekuormat, tuotantoprosesseista aiheutuvat erityisvaatimukset sekä teknisten järjestelmien ja rakenteiden yhteensovittaminen (Teollisuus- ja varastorakennukset n.d).

Teollisuusrakennuksilta vaaditaan tilajärjestelyissä joustavuutta, mikä tarkoittaa, että kantavia väliseiniä pyritään välttämään ja sisätiloista tehdään mahdollisimman avoimia. Tämä johtaa siihen, että runkorakenteilta edellytetään suurta kantavuutta ja jäykkyyttä, mikä vaikuttaa materiaalivalintoihin, poikkileikkauksiin ja liitosteknisiin ratkaisuihin. (Mittava tuotantolaitos vaatii valtavan määrän suunnittelua 2023; Teollisuus- ja varastorakennukset n.d; SFS-EN 1993-1-1:2005)

Rakenteiden yhteensopivuus teknisten järjestelmien – kuten putkistojen, sähkökourujen, kulkusiltojen ja koneiden – kanssa on keskeinen osa suunnitteluprosessia. Tämä edellyttää tarkkaa koordinaatiota eri suunnittelualojen välillä. Tietomallinnus mahdollistaa järjestelmien välisen törmäystarkastelun ja tilojen tehokkaan hyödyntämisen (Laadukasta tietoa kaikille n.d; Tietomalliohje suunnittelijoille 2016).

Rakennushankkeissa korostuvat myös nopeat aikataulut ja tehokkuus. Esivalmistettujen teräsosien käyttö mahdollistaa nopean työmaavaiheen, mutta vaatii erittäin huolellista detaljisuunnittelua ja

logistiikan hallintaa. Vakioratkaisujen käyttö tuo lisäarvoa aikataulujen hallintaan ja laatuun, mutta suunnittelijan on varmistettava niiden soveltuvuus kohdekohtaiseen käyttöön. (Metalliset kuoret profiloivat tyylikkäästi uutta voimalaitosta 2024; Teollisuus- ja varastorakennukset n.d.)

Huollettavuus ja turvallisuus ovat teollisuusrakentamisessa rakenteiden elinkaaren kannalta olennaisia. Suunnittelussa on otettava huomioon riittävä saavutettavuus huoltokohteisiin, rakenteiden tarkastettavuus ja turvalliset kulkureitit. Hoitotasot, portaat ja kaitteet suunnitellaan osaksi rakenteellista kokonaisuutta siten, että ne täyttävät niin työturvallisuusvaatimukset kuin vakausvaatimukset. (A 20.1.2018/1007; SFS-EN ISO 14122-1:2016; SFS-EN ISO 14122-2:2016; SFS-EN ISO 14122-3:2016; SFS-EN ISO 14122-4:2016.)

Ympäristöolosuhteet, kuten korkeat lämpötilat, kosteus ja mahdolliset kemialliset rasitukset voivat vaikuttaa rakenteiden pitkäaikaiskestävyyteen. Nämä olosuhteet tulee huomioida materiaalivalinnoissa ja pintakäsittelyissä. Esimerkiksi kuumasinkitys tai korroosionestomaalaus ovat hyviä vaihtoehtoja teräsrakenteiden suojaamiselle ympäristövaikutuksia vastaan. Suojaustarpeet ja käytettävät suojausmenetelmät valitaan kohdekohtaisesti ja taulukossa 8 esitettyjen rasitusluokkien perusteella. (SFS-EN ISO 12944-1:2017; SFS-EN ISO 12944-2:2017; SFS-EN ISO 14713-1:2017.)

Taulukko 8: Rasitusluokat ja tyyppilliset suojausmenetelmät

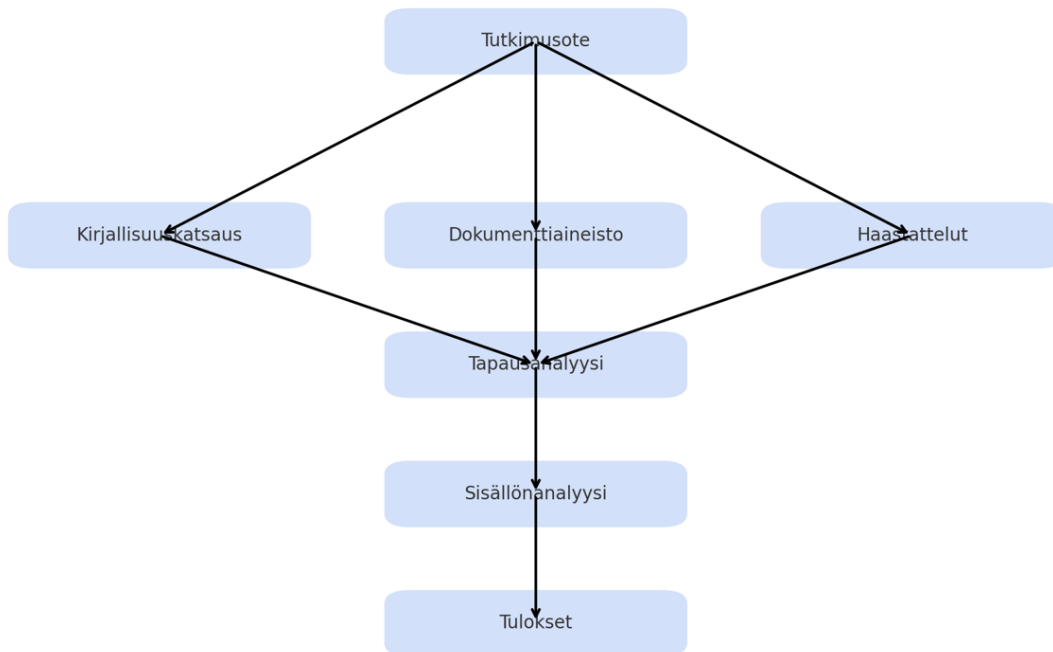
Rasitusluokat	Ympäristöolosuhteet	Mahdollisia suojausmenetelmiä
C1	Sisätilat, erittäin vähäinen korroosioriski (esim. toimistot, koulut)	Kevyt maalausjärjestelmä
C2	Lämmitetyt sisätilat, joissa satunnaista kondensaatiota (esim. varastot)	Kuumasinkitys, maalausjärjestelmä
C3	Kaupunkialueiden ja teollisuusalueiden ulkotilat, joissa kohtalainen saastuminen (esim. tuotantoprosessin saasteet)	Kuumasinkitys + maalaus, paksumpi maalausjärjestelmä
C4	Teollisuus- ja rannikkoalueet, joissa korkea kosteuden ja saasteiden taso (esim. tuotantoprosessin saasteet)	Kuumasinkitys + vahva maalaus

C5	Teollisuus- ja rannikkoalueet, joissa erittäin korkea kosteuden ja suolan määrä	Kuumasinkitys + erittäin vahva maalaus
CX	Äärimmäisen vaativat olosuhteet (esim. offshore-rakenteet, trooppinen ilmasto, raskas kemiallinen kuormitus)	Erikoispinnoitteet, kuumasinkitys ja erikoismaalaus

4 Tutkimusmenetelmät

Tässä luvussa kuvataan opinnäytetyössä käytetyt tutkimusmenetelmät. Luvussa perustellaan, miksi juuri nämä menetelmät valittiin, miten aineisto kerättiin ja analysoitiin sekä miten tutkimuksen luotettavuutta ja eettisyyttä varmistettiin.

Kuviossa 2 on esitetty tutkimusmenetelmien keskinäiset suhteet ja niiden roolit aineiston muodostamisessa. Kuvio havainnollistaa kuinka kirjallisuuskatsaus, dokumenttiaineiston tarkastelu ja haastattelut yhdistyvät tapausanalyysiin, jonka pohjalta suoritetaan teoriaohjaava sisällönanalyysi ja tulosten muodostaminen.



Kuvio 2: Tutkimusmenetelmien keskinäiset suhteet

4.1 Tutkimusote ja lähestymistapa

Työssä sovellettiin laadullista eli kvalitatiivista tutkimusotetta, jonka avulla voidaan tulkita ja ymmärtää suunnitteluprosesseihin ja niiden reunaehtoihin liittyviä ilmiöitä kokonaisvaltaisesti ja kontekstisidonnaisesti (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2009). Laadullinen lähestymistapa mahdollistaa erilaisten suunnitteluratkaisujen ja niitä ohjaavien normien sekä käytännön toteutuksen välisten suhteiden tarkastelun ilman, että pyritään yleistettävyyteen numeerisessa mielessä.

Tutkimusstrategiana toimi tapaustutkimus, joka soveltuu hyvin insinööriyppisiin opinnäytetöihin silloin, kun halutaan ymmärtää yksittäisen kohteen ratkaisuja syvällisesti. Tässä työssä analysoitiin sähkökattilarakennuskohdetta ja erillistä hoitotasosuunnittelukohdetta, joiden suunnitteluprosessin kautta tarkasteltiin rakenteellisten ratkaisujen suhdetta muun muassa turvallisuusvaatimuksiin, mitoitusperusteisiin, digitalisaatioon ja ympäristösääntelyyn (Rantanen & Toikko 2009). Valittu lähestymistapa tuki erityisesti FEM-laskennan ja standardien (esim. SFS-EN 1993 ja SFS-EN ISO 14122) soveltuvuuden arviointia konkreettisesti käytössä.

4.2 Kirjallisuuskatsaus

Kirjallisuuskatsaus muodosti työn teoreettisen perustan. Sen avulla kartoitettiin rakennesuunnitteluun, rakentamisen sääntelyyn, digitalisaatioon ja kestäväan kehitykseen liittyvää ajankohtaista ja luotettavaa tietoa. Kirjallisuushaku kohdistettiin erityisesti sellaisiin lähteisiin, jotka tukevat hoitotasojen ja muiden teollisuusrakenteiden suunnittelua sekä niihin liittyvää mitoitusta ja standardointia.

Aineistoa etsittiin systemaattisesti Jyväskylän ammattikorkeakoulun verkkokirjaston hakupalveluista, viranomaissivuilta (ym.fi, finlex.fi), Rakennustiedon verkkopalvelusta (RT-kortisto), standardikokoelmista (SFS Online) sekä muista hakupalveluista kuten Google Scholar. Erityistä painoarvoa annettiin viranomaisjulkaisuille, eurokoodistandardeille, RT-korteille, RIL-julkaisuille ja vertaisarvioituille tieteellisille artikkeleille. Lisäksi hyödynnettiin valikoituja tutkimuslaitosten raportteja ja EU:n Level(s)-kehystä ympäristövaikutusten arviointiin liittyen. Toissijaisina lähteinä käytettiin aiempia opinnäytetöitä ja uutisartikkeleita silloin, kun aiheeseen liittyvää ensisijaista tutkimusta ei ollut saatavilla.

Lähteiden valinnassa kiinnitettiin huomiota julkiseen saatavuuteen, viitattavuuteen ja ajankohtaisuuteen. RT-kortteihin ja SFS-EN-standardeihin perehdyttiin Jyväskylän ammattikorkeakoulun opiskelijalisenssin kautta Rakennustiedon ja SFS Onlinen palveluissa. Katsauksen kautta muodostettiin käsitteellinen ja normatiivinen kehys, jonka avulla kohdekohtaiset suunnitteluratkaisut voitiin asettaa laajempaan rakenteelliseen ja säädökselliseen kontekstiin.

4.2.1 Rakenteellista suunnittelua ohjaavat standardit

Rakennesuunnittelu osalta kirjallisuuskatsaus painottui standardeihin ja niitä täydentäviin kansallisiin liitteisiin sekä ohjeisiin. Keskeisiä standardeja olivat SFS-EN 1990 (rakenteellisen suunnittelun perusteet), SFS-EN 1991 (kuormat rakennuksille) ja erityisesti SFS-EN 1993-standardisarja (teräsrakenteiden suunnittelu), jotka muodostavat teknisen perustan teräsrakenteiden, kuten hoitotasojen, mitoitukselle. Standardien avulla voidaan määrittää muun muassa kuormitustilanteet, osavarmuuskerroinmenettely, taipumarajat ja vakavuustarkastelut.

Eurokoodien soveltamisessa hyödynnettiin Suomen kansallisia liitteitä, jotka tarkentavat standardien käyttö suomalaisessa rakentamisympäristössä. Lisäksi RIL-201-1-2017–julkaisua käytettiin kuormitusyhdistelmien määrittelyyn ja mitoitusperiaatteiden tulkintaan erityisesti teollisuusrakentamisen kontekstissa. Nämä ohjeet auttavat soveltamaan standardeja käytännön suunnittelu-työhön ja yhtenäistämään rakenteiden tarkasteluperusteita kansallisesti hyväksytyllä tavalla.

Työn kannalta erityistä huomiota kiinnitettiin myös koneturvallisuuteen liittyvään standardisarjaan SFS-EN ISO 14122, joka ohjaa hoitotasojen rakenteellista mitoitusta, turvallisuusvaatimuksia ja geometrisia mittoja. Standardi muodostaa keskeisen viitekehysten hoitotasojen käytettävyyden, kaiteiden, askelmien ja kulkureittien suunnittelulle.

4.2.2 Ilmastaselvitys ja ympäristösääntely

Ilmastaselvitystä ja kestäväää rakentamista käsittelevä aineisto kartoitettiin erityisesti Ympäristöministeriön linjauksista, RT-ohjekorteista sekä valikoiduista tutkimuslaitosten ja EU-tason julkaisuista. Aineistonvalinnassa painottuivat säädösperusteiset lähteet, joilla on suora kytkös rakennesuunnittelun velvoitteisiin. Erityistä huomiota kiinnitettiin uuteen rakentamislakiin (L 751/2023) ja siihen liittyvään ilmastaselvitystä koskevaan asetukseen (A 23.12.2024/1027), jotka määrittävät vaatimukset rakennuksen elinkaari päästöjen arvioinnille ja materiaalitiedon ilmoittamiselle.

Työssä hyödynnettiin myös EU:n Level(s)–viitekehystä (Dodd ym. 2021) ja VTT:n julkaisuja (esim. Vares ym. 2015), joiden kautta avautuu systemaattinen tapa ympäristövaikutusten mittaamiseen, raportointiin ja vertailuun rakennesuunnittelun yhteydessä. Lähteet tukivat opinnäytetyön tavoitteita ymmärtää, miten sääntely ohjaa käytännön suunnittelupäätöksiä erityisesti materiaalivalintojen ja mitoituksen tasolla.

4.2.3 Digitalisaation ja tietomallien rooli

Tietomallipohjaiseen suunnitteluun liittyvät lähteet valittiin teknisten ohjeiden, asiantuntijaorganisaatioiden (esim. Sweco) ja tutkimuslaitosten julkaisemien materiaalien perusteella. Lähteiden avulla selvitettiin digitalisaation vaikutuksia erityisesti suunnittelun yhteentoimivuuteen, suunnit-

telma-aineistojen hallintaan ja ympäristövaikutusten arviointiin. Erityistä huomiota kiinnitettiin siihen, miten tietomallin tukevat rakenteiden tarkkaa mitoitusta, materiaalivirtojen optimointia ja eri suunnittelualojen välistä tiedonsiirtoa, mikä on keskeistä erityisesti teollisuusrakentamisessa.

4.2.4 Lähdevalinta ja lähteiden dokumentointi

Lähteiden valinnassa painotettiin luotettavuutta, ajantasaisuutta ja suoraa sovellettavuutta opinnäytetyön teknisiin ja säädöksellisiin tavoitteisiin. Etusijalle asetettiin ensisijaiset lähteet, kuten viranomaisten säädökset, SFS-standardit, RT- ja RIL-ohjeet sekä vertaisarvioidut julkaisut. Erityistä huomiota kiinnitettiin lähteiden julkiseen saatavuuteen ja pysyvyyteen, jotta tiedot ovat jäljitettävissä ja uudelleenkäytettävissä myös työn valmistumisen jälkeen.

Toissijaisia lähteitä, kuten aiempia opinnäytetöitä ja asiantuntijaorganisaatioiden verkkosisältöjä, käytettiin vain täydentämään ensisijaisia lähteitä silloin, kun aiheeseen liittyvää virallista aineistoa ei ollut saatavilla. Kaikki lähteet viitattiin ja dokumentoitiin lähdeluetteloon Jyväskylän ammattikorkeakoulun opinnäytetyön raportointiohjeen mukaisesti.

4.3 Dokumenttiaineiston analyysi

Dokumenttiaineiston analyysiä käytettiin tapaustutkimuksen empiirisenä ydinmenetelmänä. Tarkastelun kohteena olivat valittujen kohteiden suunnitteluun liittyvät asiakirjat, kuten rakennepiirustukset, kuormitus- ja mitoituskalkelmat, FEM-analyysitulokset ja tietomallit. Aineiston avulla pyrittiin muodostamaan kokonaiskuva siitä, miten tekniset, säädöspohjaiset ja ympäristöön liittyvät reunaehdot toteutuvat käytännön suunnittelussa.

Analyysin avulla tunnistettiin erityisesti ne ratkaisut, jotka vaikuttivat materiaalitehokkuuteen, standardien soveltamiseen ja suunnittelun yhteensopivuuteen muiden suunnittelualojen kanssa. Dokumenttiaineiston tarkastelu mahdollisti lisäksi rakennuskohteen suunnitteluprosessin kriittisten vaiheiden ja päätöksentekopisteiden tunnistamisen sekä näiden perustelujen arvioinnin suhteessa suunnittelustandardeihin ja sääntelyvaatimuksiin.

4.4 Haastattelut

Haastatteluja käytettiin täydentämään kirjallisuuskatsauksen ja dokumenttiaineiston tuottamaa tietoa erityisesti silloin, kun lähdekirjallisuus ei tarjonnut yksiselitteisiä vastauksia käytännön suunnitteluratkaisuihin liittyviin kysymyksiin. Haastateltavina oli kokeneita rakennesuunnittelijoita, joilla on suoraa kokemusta hoitotasojen suunnittelusta teollisuuskohteissa. Haastattelut toteutettiin puolistrukturoituina teemahaastatteluina, jotka mahdollistavat joustavan, mutta tavoitteellisen etenemisen ennalta laadittujen aihepiirien pohjalta (Tuomi & Sarajärvi 2009).

Haastattelukysymykset suunniteltiin siten, että ne liittyvät muun muassa mitoituseriaatteisiin, standardien tulkintaan, yhteistyöhön muiden suunnittelualojen kanssa ja kestävän kehityksen näkymiseen käytännön työssä. Haastattelut litteroitiin tiivistetyssä muodossa siten, että vastaukset jäsenneltiin kysymyskohtaisesti sisällöllisesti tarkkoina muttei täysin sanatarkkoina kuvauksina. Tämän jälkeen aineisto analysoitiin laadullisesti teoriaohjaavan sisällönanalyysin keinoin. Analyysin tavoitteena oli tunnistaa toistuvia näkemyksiä, eroja ja käytännön kokemuksia, jotka rikastavat dokumenttiaineistoon ja kirjallisuuteen perustuvaa tulkintaa.

Aineistoa käsiteltiin nimettömästi ja luottamuksellisesti, ja kaikilta haastateltavilta saatiin suostumus aineiston käyttöön opinnäytetyössä. Haastattelut toteutettiin keväällä 2025 ja ne dokumentoitiin osaksi tutkimuksen empiiristä aineistoa.

4.5 Tapausanalyysi

Tapausanalyysissä syvennyttiin konkreettisesti hoitotasosuunnittelu- ja sähkökattilarakennushankkeeseen, jotka toimivat tutkimuksen empiirisinä kohteina. Analyysi sisälsi rakenteellisten ratkaisujen, mitoituseriaatteiden, tietomallien ja suunnitteluprosessin kokonaisvaltaisen tarkastelun. Tavoitteena oli arvioida, miten tekniset vaatimukset, lainsäädäntö ja standardit on sovellettu käytännön suunnittelutyössä. Lisäksi analysoitiin, miten digitalisaation mahdollistamat työkalut, kuten tietomallipohjainen suunnittelu ja FEM-laskenta, tukivat suunnittelun laatua ja yhteensopivuutta.

4.6 Havainnoista analyysiin: teoriaohjaava lähestymistapa

Aineiston analyysissä yhdistettiin kirjallisuuskatsauksen, haastatteluiden ja dokumenttiaineiston havainnot siten, että eri aineistot täydensivät toisiaan sekä temaattisesti että sisällöllisesti. Menetelmänä käytettiin teoriaohjaavaa sisällönanalyysiä, joka mahdollistaa aineiston jäsentämisen sekä etukäteen määriteltyjen analyysikategorioiden, että aineistosta esiin nousevien ilmiöiden perusteella (Tuomi & Sarajärvi 2009).

Haastatteluiden osalta analyysissä tunnistettiin toistuvia teemoja, kuten vakioinnin hyödyt ja haasteet, kestävän kehityksen käytännön toteutus sekä yhteistyön merkitys suunnittelualojen välillä. Dokumenttiaineistosta tunnistettiin puolestaan kriittisiä suunnitteluratkaisuja, jotka heijastivat teknisten, säädöspohjaisten ja yhteentoimivuuteen liittyvien vaatimusten vaikutusta. Tuloksia verrattiin voimassa olevaan sääntelyyn ja keskeisiin suunnittelustandardeihin (vrt. kohdat 3.2.1–3.2.2). Analyysin tavoitteena oli muodostaa synteesi eri aineistolähteistä, joka osoittaa, miten suunnittelukäytännöt suhteutuvat sääntelyvaatimukseen ja teknisiin ohjeisiin käytännössä.

4.7 Tutkimuksen luotettavuus ja eettisyys

Tutkimuksen luotettavuutta pyrittiin vahvistamaan käyttämällä monimenetelmällisyyttä: kirjallisuuskatsauksen, haastatteluiden ja dokumenttien analyysin yhdistelmä mahdollisti aineiston tulosten keskinäisen vertailun ja täydentävyyden arvioinnin. Lisäksi lähteiden luotettavuus arvioitiin lähdekritiikin periaatteita noudattaen ja dokumentoitiin järjestelmällisesti Jyväskylän ammattikorkeakoulun opinnäytetyön raportointiohjeiden mukaisesti.

Haastattelujen osalta tutkimuksessa noudatettiin eettisen tutkimuksen keskeisiä periaatteita, kuten vapaaehtoisuutta, luottamuksellisuutta ja anonymiteettiä. Haastateltavat informoitiin selkeästi tutkimuksen tavoitteista, ja heiltä pyydettiin suostumus aineiston käyttöön. Haastatteluissa ei käsitelty henkilötietoja eikä arkaluonteisia tietoja. Tietosuojaa kunnioitettiin koko prosessin ajan, ja aineisto säilytettiin suojatusti tutkimuksen ajan. Opinnäytetyön toimeksiantajan aineistoa säilytettiin vain toimeksiantajan sisäisessä järjestelmässä.

5 Tulokset

Opinnäytetyön tulokset on jäsennetty teemoittain aineiston pohjalta muodostettujen kategorioiden mukaisesti. Esiteltävät tulokset perustuvat dokumenttiaineiston analyysiin, asiantuntijahaastatteluihin sekä kirjallisuuskatsauksen tarjoamaan viitekehukseen. Luvun tavoitteena on tuoda esiin suunnitteluratkaisuihin vaikuttavat tekijät erityisesti hoitotasojen ja muiden teräsrakenteiden kontekstissa.

5.1 Standardien ja lainsäädännön soveltaminen suunnittelussa, kestävä kehitys

Analyysien perusteella keskeisimmät suunnitteluratkaisuihin vaikuttavat standardit olivat standardisarjat SFS-EN ISO 14122 ja SFS-EN 1993. Standardisarja SFS-EN ISO 14122 määrittää hoitotasojen ja kulkuteiden turvallisuusvaatimuksia, SFS-EN 1993 ohjaa teräsrakenteiden lujuus- ja vakavuusmitoitusta. Näiden standardien ohjaus ulottui muun muassa kaiteiden korkeuksiin, askelmien mitoitukseen, vapaisiin kulkukorkeuksiin sekä rakenteiden kuormituksen huomioimiseen eri käyttötilanteissa.

Rakentamislain (L 751/2023) mukaiset vaatimukset suunnittelijan pätevyydestä ja vastuunjaosta näkyivät käytännössä suunnitelmien sähköisessä muodossa, koneluettavuuden vaatimuksessa sekä tietomallien (BIM) hyödyntämisessä. Dokumentoinnin selkeys ja yhteentoimivuus nousivat suunnittelun laatuksiteereiksi, joita arvioidaan myös rakennusvalvonnassa Ryhti-järjestelmän kautta.

Vuoden 2026 alussa voimaan tulevan ilmastaselvityksen (A 23.12.2024/1027) tuomia velvoitteita on jo huomioitu tämänhetkisessä suunnittelussa, erityisesti elinkaariajattelun, materiaalitehokkuuden ja rakennusosien uudelleenkäytettävyyden näkökulmasta. Standardien ja lainsäädännön yhteisvaikutus ohjaa paitsi turvallisuutta ja toimivuutta, myös ympäristötavoitteiden toteutumista suunnitteluratkaisuissa.

Dokumenttiaineiston ja haastattelujen perusteella kestävä kehityksen periaatteet näkyvät muun muassa esivalmistuksen, modulaarisuuden ja uusiokäyttöisyyden suosimisena. FEM-analyysin avulla rakenteet voidaan optimoida ylisuunnittelun välttämiseksi, mikä tukee materiaalin tarkoituksenmukaista käyttöä. Konkreettisenä esimerkkinä voidaan tarkastella leveälappaisen HEB-

palkin ja kapeampilaitaisen IPE-palkin eroa materiaalitehokkuuden näkökulmasta. Vaikka HEB-profiili on kantavuudeltaan suurempi, se sisältää enemmän terästä ja kasvattaa siten rakenteen hiilijalanjälkeä. Jos kuormitus ei edellytä suurta taivutusmomentin kapasiteettia, voidaan mitoitus tehdä kevyemmällä IPE-profiililla, jolloin säästetään materiaalia ja pienennetään ympäristövaikutuksia. FEM-analyysin avulla voidaan arvioida tarkasti rakenteen kuormitus ja optimoida profiilivalinta ympäristökriteerit huomioon. Liitteessä 1 on esitetty esimerkki rakenteen optimoimisesta murtorajatilamitoituksessa.

Uusien, vähähiilisten terästuotteiden laajempaa hyödyntämistä rajoittaa tällä hetkellä niiden saatavuus ja kustannukset, mutta tuotteiden kehittymistä seurataan aktiivisesti. Yksi huomionarvoinen näkökulma on myös tuotteiden valmistuspaikka: ympäristön kannalta kestävämpi ratkaisu on usein käyttää mahdollisimman lähellä tuotettuja rakenteita ja komponentteja, jolloin kuljetuspäästöt ja logistiikkakustannukset pienenevät.

5.2 Mitoitusperiaatteet ja rakenteelliset ratkaisut

Tulosten perusteella mitoitus toteutettiin eurokoodijärjestelmän mukaisesti hyödyntäen useita standardeja, joita kohdassa 4.1 mainittujen standardien lisäksi olivat SFS-EN 1990 ja SFS-EN 1991. Suunnittelussa sovellettiin osavarmuuskerroinmenetelmää ja kuormitusyhdistelmiä, joiden avulla varmistettiin rakenteiden kantavuus ja käyttökelpoisuus eri kuormitustilanteissa.

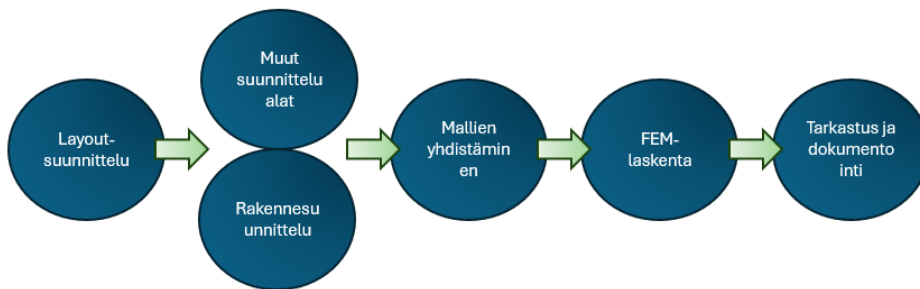
Hoitotasojen osalta mitoituksessa korostui erityisesti kaiteiden ja askelmien lujuus, joiden mitoitusperusteet johdettiin koneturvallisuusstandardista. Lisäksi huomioitiin tilanteet, joissa hoitotaso altistuu epäsymmetrisille kuormille tai käytössä syntyy paikallisia pistekuormia.

Asiantuntijahaastatteluiden mukaan RHS- ja IPE-profiilit ovat yleisimmin käytettyjä vakioprofiileja, joiden käyttö helpotti vakavuustarkastelua ja liitettävyyttä muihin rakenneosiin. FEM-laskentaa hyödynnettiin erityisesti palkkien taipumien ja jännitys jakaumien arviointiin, jolloin rakenteet voitiin optimoida materiaalia ja painoa säästäen.

5.3 Yhteensovitus muiden suunnittelualojen kanssa

Haastatteluissa korostui yhteensovittamisen kriittinen rooli erityisesti teollisuuskohteissa, joissa hoitotasot integroituvat tiiviisti teknisten järjestelmien, kanavistojen ja putkistojen lomaan. Suunnittelun onnistuminen edellytti yksityiskohtaista tietoa muista järjestelmistä jo varhaisessa suunnitteluvaiheessa, jotta vältettiin fyysiset ristiriidat ja varmistettiin turvalliset kulkuyhteydet. Tietomallien (BIM) hyödyntäminen nähtiin tässä keskeisenä työkaluna: niiden avulla pystyttiin havaitsemaan törmäykset, mallintamaan tilavaraukset tarkasti ja jakamaan ajantasaista tietoa eri suunnittelualojen välillä. Suunnitteluysteistyö vaati rakennesuunnittelijalta aktiivista vuorovaikutusta muiden suunnittelijoiden kanssa sekä kykyä ennakoida muutosten vaikutuksia rakenteisiin ja mitoituksiin.

Eräs haaste on kuitenkin layout-suunnittelussa oleva tiedottomuus rakennesuunnittelun käyttämistä ratkaisuista. Monessa tapauksessa on saattanut käydä niin, että layout-suunnittelijan laatima teräsrakenne on muuttunut täysin erilaiseksi, niin profiilien kuin suunniteltujen jännevälien osalta. Kuviossa 3 esitetään tyypillinen tietomallipohjainen suunnitteluprosessi, jossa eri suunnittelualat toimivat vaiheittain. Kun layout-suunnittelun ratkaisut perustuvat jo alusta alkaen rakennesuunnittelun vakioituihin periaatteisiin, voidaan vähentää turhaa päällekkäistä työtä ja suunnitelmamuutoksia.



Kuvio 3: Suunnitteluprosessin eteneminen

5.4 Suunnittelijan pätevyyden osoittaminen

Uuden rakentamislain (L 751/2023) nojalla suunnittelijan on osoitettava pätevyytensä vaativuuksuolokan mukaisesti ympäristöministeriön valtuuttaman toimielimen myöntämällä todistuksella.

Tällä hetkellä valtuutettuja toimielimiä ovat esimerkiksi FISE Oy ja Kiwa Inspecta Oy. Nämä toimielimet myöntävät lain mukaisia pätevyyskriteerejä eri suunnittelutehtäviin, kuten kantavien rakenteiden suunnitteluun, akustiikkasuunnitteluun ja teräsrakenteiden suunnitteluun. FISE Oy myös ylläpitää pätevyysrekisteriä.

6 Johtopäätökset ja kehittämisehdotukset

Opinnäytetyö osoittaa, että hoitotasojen ja muiden teräsrakenteiden suunnittelu edellyttää monialaisesti sääntelyn, mitoitusstandardien, digitalisaation ja kestävän kehityksen yhteensovittamista. SFS-EN ISO 14122-standardisarja määrittää rakenteelliset turvallisuusvaatimukset yksityiskohtaisesti, ja sen huomioiminen jo suunnittelun alkuvaiheessa mahdollistaa sujuvamman toteutuksen. Rakentamislain mukaiset tietomallivaatimukset ja tuleva ilmastaselvitys nostavat suunnittelun dokumentaatiovaatimuksia, mutta toisaalta tarjoavat myös mahdollisuuksia prosessien ja ympäristövaikutusten hallintaan.

Dokumenttiaineiston ja haastattelujen perusteella voidaan todeta, että rakennesuunnittelun tulisi kytkeytyä tiiviimmin osaksi layout-suunnittelun varhaisvaiheita. Tällä hetkellä rakenteita suunnitellaan usein jo siinä vaiheessa, kun kaikkia laitteistosijoitteluja, putkistoja tai kanavoiteja ei ole vielä päätetty tai suunniteltu valmiiksi. Tämä aiheuttaa lisätyötä rakennesuunnittelulle, sillä suunnitelmia joudutaan päivittämään muutosten mukaan. Toisaalta tilanteet, joissa rakenteet suunnitellaan vasta tilaratkaisujen lukkiuduttua, voivat rajoittaa mahdollisuuksia rakenteiden optimointiin ja yhteensopivuuteen teknisten järjestelmien kanssa.

Kehittämisehdotukset toimeksiantajalle:

1. Rakennesuunnittelun varhaisempi integrointi layout-suunnitteluun:

- Kehitetään suunnittelupohjia, joissa hoitotasojen ja muiden rakenteiden geometriset ja mitoituselliset reunaehdot on huomioitu jo layout-suunnittelun lähtötiedoissa. Tämä parantaa törmäystarkasteluiden onnistumista, mahdollistaa mitoituksen optimoinnin ja vähentää rakenteellisia muutoksia.

2. Standardipohjaiset rakennemallit:

- Luodaan toimeksiantajalle valmiita komponenttikirjastoja (esim. kaideprofiilit, IPE-palkkityypit), jotka perustuvat eurokoodien ja SFS-EN ISO 14122:n vaatimuksiin. Näitä voidaan hyödyntää suunnittelualojen yhteisissä tietomalleissa.

3. Koulutus ja suunnitteluohjeet:

- Laaditaan sisäisiä ohjeistuksia ja koulutusmateriaalia, joiden avulla eri suunnittelualat ymmärtävät rakenteelliset lähtökohdat (esim. askelmatason mitat, kaiteiden korkeus, kuormitusvaatimukset,

vakioidut liitokset). Tämä tukee yhtenäistä suunnittelukulttuuria ja antaa paremmat lähtökohdat toisen rakennesuunnittelijan töiden tarkastamiseksi sekä muokkaamiseksi.

4. Tuotetiedon ja hiilijalanjäljen parempi hallinta:

- Otetaan käyttöön järjestelmä, jossa voidaan yhdistää rakennusosien määrätietoihin ympäristövaikutustiedot (esim. EPD), mikä tukee tulevan ilmastaselvityksen laadintaa, etenkin asiakkaan näkökulmasta. Tämä tukee myös vähähiilisten valintojen tekemistä.

Näiden kehittämistoimenpiteiden tavoitteena on lisätä rakennesuunnittelun vaikuttavuutta, parantaa suunnittelun laatua ja tukea toimeksiantajan valmiuksia vastata tuleviin sääntely- ja laatu-tavoitteisiin kokonaisvaltaisella tavalla.

On kuitenkin tärkeää tunnistaa, ettei rakenteita voida teollisuusrakentamisessa täysin esisuunnitella tai vakioida. Jokainen kohde sisältää yksilöllisiä muuttujia, kuten laitesijoitteluja, käyttökuormia ja tilajärjestelyjä, jotka vaikuttavat suoraan rakenteellisiin ratkaisuihin. Vakioratkaisut toimivat parhaimmillaan suunnittelua ohjaavina lähtökohtina, mutta lopullinen mitoitus ja rakennevalinta tulee aina perustua kohdekohtaiseen tarkasteluun muun suunnitteluaineiston rinnalla.

7 Yhteenveto

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin hoitotasojen ja muiden teollisuusrakenteiden rakennesuunnittelua erityisesti standardien, sääntelyn, digitalisaation ja kestävän kehityksen näkökulmista. Työn tavoitteena oli selvittää, miten nämä vaatimukset vaikuttavat käytännön suunnitteluratkaisuihin ja miten rakennesuunnittelu voitaisiin kytkeä tiiviimmin osaksi muuta suunnitteluprosessia.

Työssä sovellettiin laadullista tutkimusotetta, ja empiirinen aineisto kerättiin asiantuntijahaastatteluilla sekä analysoimalla valittujen kohteiden suunnitteludokumentaatiota. Kirjallisuuskatsauksen avulla muodostettiin käsitteellinen viitekehys, johon aineistosta tehtyjä havaintoja verrattiin.

Tulokset osoittavat, että rakennesuunnittelun roolia voidaan vahvistaa erityisesti layout-suunnittelun rinnalla toimivilla käytännöillä ja suunnittelupohjilla. Standardien, kuten SFS-EN ISO 14122:n, ja rakentamislain vaatimusten huomioiminen jo varhaisessa vaiheessa parantaa rakenteiden toimivuutta, turvallisuutta ja yhteentoimivuutta muiden suunnittelualojen kanssa. Myös tuleva ilmastaselvitysvelvoite ja rakentamiseen liittyvät ympäristötavoitteet asettavat uusia vaatimuksia suunnitteluratkaisujen optimoinnille.

Työn kehittämisehdotukset painottuvat rakennesuunnittelun varhaisempaan integrointiin, standardoitujen komponenttien käyttöön ja tietomallien tehokkaampaan hallintaan. Näillä toimenpiteillä voidaan parantaa suunnittelun laatua, vähentää päällekkäistä työtä ja tukea toimeksiantajaa kohti tehokkaampaa ja ympäristötietoisempaa suunnitteluprosessia. Samalla on kuitenkin tunnistettava, että teollisuusrakentamisen yksilölliset ratkaisut, kuten laitesijoittelu ja tilajärjestelyt, rajoittavat vakiointimahdollisuuksia. Vakioratkaisut toimivat suunnittelua tukevinä lähtökohtina, mutta lopulliset ratkaisut tulee tehdä tapauksittain kohteen erityispiirteet huomioiden.

Opinnäytetyöprosessin aikana syvensin merkittävästi osaamistani FEM-laskennan periaatteista sekä Autodesk Robot Structural Analysis-ohjelmiston käytöstä erityisesti teollisuusrakenteiden mitoituksessa. Erityisen hyödylliseksi osoittautui tulosten tulkinta kuormitustilanteiden perusteella ja rakenteiden optimointi todellisten käyttökuormien mukaan. Työ kehitti myös ymmärrystä siitä, miten suunnitteluprosessia voidaan jäsentää vaiheittain ja missä kohdin eri suunnittelualojen välinen yhteistyö on ratkaisevaa. Lisäksi opin soveltamaan uusien standardien ja lainsäädännön vaatimuksia käytännön suunnittelutyöhön sekä ymmärtämään tietomallien hyödyntämisen merkityksen tiedonsiirrossa ja suunnitelmien yhteensovittamisessa laajemmassa mittakaavassa. Näitä oppeja voin hyödyntää tulevaisuuden projekteissa niin rakennesuunnittelijana kuin osana kokonaisvaltaista suunnittelutiimiä – erityisesti tilanteissa, joissa tarvitaan teknistä tarkkuutta, yhteistyötaitoja ja kykyä hallita laajoja suunnittelukokonaisuuksia.

Työ toteutui suunnitelman mukaisesti, ja asetetut tavoitteet saavutettiin. Työn aikana painottui entistä vahvemmin tietomallipohjaisen suunnittelun ja rakennesuunnittelun yhteensovittaminen sekä vakioratkaisujen soveltaminen muuttuvissa suunnitteluolosuhteissa. Lisäksi opinnäytetyö laajensi alkuperäistä suunnitelmaa tunnistamalla vakioinnin realistiset rajat ja tuomalla esiin käytännönläheisen suunnitteluoppaan hyödyn teollisuuskohteissa.

Lähteet

A 17.6.2024/477. Ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista. Viitattu 8.3.2025. <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2014/477>.

A 20.1.2018/1007. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta. Viitattu 8.3.2025. <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2017/1007>.

A 28.11.2017/848. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta. Viitattu 11.3.2025. <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2017/848>.

A 2.12.2020/927. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta. Viitattu 11.3.2025. <https://finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2020/927>.

A 23.12.2024/1027. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ilmastaselvityksestä ja rakennustuoteluettelosta. Viitattu 8.3.2025 <https://finlex.fi/fi/lainsaadanto/2024/1027>.

Alueidenkäytön lainsäädännön uudistus. Tiedote ympäristöministeriön www-sivuilla. Viitattu 7.3.2025. <https://ym.fi/alueidenkayton-lainsaadannon-uudistus>.

Asiantuntija-4. 2025. Rakennesuunnittelun asiantuntija. Haastattelu 24.4.2025.

Dodd, N., Donatello, S. & Cordella, M. 2021. Level(s) – A common EU framework of core sustainability indicators for office and residential buildings. European Commission. Viitattu 10.3.2025. https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2021-01/UM1_Introduction_to_Level%28s%29_v1.1_27pp.pdf.

Fossiilivapaa teräs. N.d. SSAB. Viitattu 10.3.2025. <https://www.ssab.com/fi-fi/fossiilivapaa>.

HEB-LEVEÄLAIPPAPALKIT. N.d. Julkaisu BE Group www-sivuilla. Viitattu 2.5.2025. <https://www.begroup.fi/tuotteet/palkit/heb-levealaippapalkit>.

Hirn, A. 2021. Galvanizing – Hanbook. Viitattu 11.3.2025. https://nordicgalvanizers.com/wp-content/uploads/2020/01/NG_GalvanizingHandbook_digitalversion.pdf.

Hirsjärvi, S. Remes, P. & Sajavaara, P. 2009. Tutki ja kirjoita. Helsinki: Tammi. Viitattu 30.03.2025.

Hydrogen technologies and fuel cells. N.d. Julkaisu VTT:n www-sivuilla. Viitattu 9.3.2025. <https://www.vttresearch.com/en/ourservices/hydrogen-technologies-and-fuel-cells>.

IPE-PALKIT. N.d. Julkaisu BE Group www-sivuilla. Viitattu 2.5.2025. <https://www.begroup.fi/tuotteet/palkit/ipe-palkit>.

Jäykistysjärjestelmät. 2021. Betoniteollisuus ry. Viitattu 11.3.2025. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/22083/J%c3%a4ykistysj%c3%a4rjestelm%c3%a4t.pdf>.

Kestävät teräsrakenteet. N.d. Julkaisu Teräselementti Oy:n www-sivuilla. Viitattu 9.3.2025. <https://teraselementti.fi/terasrakenteet/>.

L 431/2023. Laki rakennetun ympäristön tietojärjestelmästä. Annettu 23.3.2023. Viitattu 7.3.2025 <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2023/431>.

L 751/2023. Rakentamislaki. Annettu 21.4.2023. Viitattu 7.3.2025. <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2023/751>.

Laadukasta tietoa kaikille. N.d. Solibri. Viitattu 10.3.2025 <https://www1.solibri.com/fi/>.

Lavikka, R. & Kiviniemi, M. N.d. Rakennusten tietomallit tukemaan vähähiilistä rakentamista. Artikkelikeli Rakennustarkastusyhdistys RTY:n www-sivuilla. Viitattu 10.3.2025. <https://www.rakennustarkastusyhdistys.fi/rakennusten-tietomallit-tukemaan-vahahiilista-rakentamista/>.

Maailman ensimmäinen fossiilivapaata terästä hyödyntävä rakennus tehtiin yhteistyöllä. N.d. Uutinen SSAB www-sivuilla. Viitattu 9.3.2025. <https://www.ssab.com/fi-fi/fossiilivapaa/kumppanuus/maailman-ensimmainen-fossiilivapaata-terasta-hyodyntava-rakennus-tehtiin-yhteistyolla>.

Metalliset kuoret profiloivat tyylikkäästi uutta voimalaitosta. 2024. Uutinen Teräsrakenneyhdistyksen www-sivuilla. Viitattu 21.3.2025. <https://www.terasrakenneyhdistys.fi/metalliset-kuoret-profiloivat-tyylikkaasti-uutta-voimalaitosta/>.

Mittava tuotantolaitos vaatii valtavan määrän suunnittelua. 2023. Uutinen Teräsrakennuslehden www-sivuilla. Viitattu 9.3.2025. <http://terasrakenneyhdistys.fi/mittava-tuotantolaitos-vaatii-valtavan-maaran-suunnittelua/>.

MRL 132/1999. Maankäyttö- ja rakennuslaki. Annettu 5.2.1999. Viitattu 7.3.2025. <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/1999/132>.

Mölsä, S. 2021. Sementin ja teräksen ilmastopäästöt tulevat jo valmistusprosessista – teräs puhdistuu joskus 2030 luvulla vetypelkistyksellä. Julkaistu 22.4.2021. Uutinen Rakennuslehden www-sivuilla. Viitattu 10.3.2025. <https://www.rakennuslehti.fi/2021/04/sementin-ja-teraksen-ilmastopaastot-tulevat-jo-valmistusprosessista-teras-puhdistuu-pian-vetypelkistyksella/>.

Mäkelä, M., Soininen, L., Tuomola, S. & Öistämö, J. 2008. Tekniikan kaavasto. 24. painos Tammer-tekniikka. Viitattu 21.3.2025

Nöjd, K. 2022. Tietomallit osana vähähiilisyyden ohjausta. Sweco. Viitattu 20.3.2025. <https://www.sweco.fi/wp-content/uploads/sites/7/2022/04/Kari-Nojd-Tietomallit-osana-vahahiilisyyden-ohjausta-30032022.pdf>.

Otamme käyttöön kokonaisvaltaisen elinkaarimallin. N.d. Artikkelikeli Ruukki Constructionin www-sivuilla. Viitattu 12.3.2025. <https://www.ruukki.com/fin/building-envelopes/miksi-ruukki/elinkaarijattelumme/materiaalin-kiertokulku>.

Partala, E. 2022. Vähähiilisyiden ohjaus rakennesuunnittelussa. Sweco. Viitattu 20.3.2025. https://www.sweco.fi/wp-content/uploads/sites/7/2022/04/20220302_WTB_Vahahiilisyiden-ohjaus-rakennesuunnittelussa-Eetu-Partala.pdf.

Rakennusmateriaalien kierrätys vähentää ilmastopäästöjä ja jätettä. 2024. Artikkelit Ilmasto-opas.fi www-sivuilla. CANEMURE-hanke. Ilmatieteenlaitos & Suomen ympäristökeskus. Viitattu 13.3.2025 <https://ilmasto-opas.fi/artikkelit/rakennusmateriaalien-kierratys-vahentaa-ilmastopaastoja-ja-jatetta>.

Rakennusmateriaalien uudelleenkäyttö, kierrätys ja jätehuolto. 2022. Artikkelit ymparisto.fi www-sivuilla. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA. Sivua päivitetty 19.11.2024. Viitattu 20.3.2025 <https://www.ymparisto.fi/fi/rakennettu-ymparisto/rakentaminen/kiinteistojen-yllapito-ja-korjaaminen/rakennusmateriaalien-uudelleenkaytto-kierratys-ja-jatehuolto>.

Rakentamisen kiertotalous. N.d. Tiedote ympäristöministeriön www-sivuilla. Viitattu 20.3.2025. <https://ym.fi/rakentamisen-kiertotalous>.

Rakentamislaki sujuvoittaa rakentamista ja edistää päästövähennyksiä ja kiertotaloutta. N.d. Tiedote ympäristöministeriön www-sivuilla. Viitattu 7.3.2025 <https://ym.fi/rakentamislaki>.

Rakenteiden lujuus ja vakaus – Teräsrakenteet. 2019. Ympäristöministeriö. Viitattu 12.3.2025. https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Terasrakenteet-2019-D829E0A3_9D8E_4730_8E6C_EF076B4642F2-126585.pdf.

Rantanen, T. & Toikko, T. 2009. Tampere: Tampereen Yliopistopaino Oy – Juvenes Print. Viitattu 30.03.2025.

RIL 201-1-2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL. Viitattu 9.3.2025.

Robot Structural Analysis. N.d. Autodesk www-sivut. Viitattu 26.4.2025. https://www.autodesk.com/fi/products/robot-structural-analysis/overview?us_oa=dotcom-us&us_si=8eba5d54-e8ec-494b-bb04-22a1a6345059&us_st=Robot%20Structural%20Analysis%20Professional&us_pt=RSAPRO.

RT 10-11070. 2012. Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa 5. Rakennesuunnittelu. RT-ohjekortti. Rakennustieto. Viitattu 10.3.2025. <https://janet.finna.fi/>, RT-kortisto.

RT 103087. 2019. Rakennesuunnittelun tehtäväluettelo RAK18. RT-ohjekortti. Rakennustieto. Viitattu 8.3.2025. <https://janet.finna.fi/>, RT-kortisto.

RT 103170. 2020. Ilmastonmuutos. Hillintä ja sopeutuminen rakennetussa ympäristössä. RT-ohjekortti. Rakennustieto. Viitattu 10.3.2025. <https://janet.finna.fi/>, RT-kortisto.

RT 103789. 2025. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ilmastaselvityksestä ja rakennustuoteluettelosta. RakL säädösmuutokset. RT-säännöskortti. Rakennustieto. Viitattu 7.3.2025. <https://janet.finna.fi/>, RT-kortisto.

Ryhti-hanke. N.d. Tiedote ympäristöministeriön www-sivuilla. Viitattu 7.3.2025.
<https://ym.fi/ryhti>.

SFS-EN 1990:2002 + A1:2005 + AC:2008. Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 26.6.2006. Viitattu 11.3.2025 <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

SFS-EN 1991-1-1:2002 + AC:2009. Eurocode 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-1: Yleiset kuormat. Tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 21.10.2002. Viitattu 11.3.2025. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

SFS-EN 1993-1-1:2005. Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 15.8.2005. Viitattu 9.3.2025. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

SFS-EN 1993-1-2:2005. Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Rakenteen palomitoitus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 15.8.2005. Viitattu 9.3.2025. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

SFS-EN 1993-1-8:2005: Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten suunnittelu. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 15.8.2005. Viitattu 9.3.2025. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

SFS-EN ISO 12944-1:2017. Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmällä. Osa 1: Yleistä. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 29.12.2017. Viitattu 21.3.2025. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

SFS-EN ISO 12944-2:2017. Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmällä. Osa 2: Ympäristöolosuhteiden luokittelu. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 29.12.2017. Viitattu 21.3.2025. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

SFS-EN ISO 12944-5:2019. Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmällä. Osa 5: Suojamaaliyhdistelmät. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 1.11.2019. Viitattu 11.3.2024. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

SFS-EN ISO 14122-1:2016. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 1: Pääsytien valinta ja yleiset vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 1.7.2016. Viitattu 9.3.2025. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

SFS-EN ISO 14122-2:2016. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 2: Työskentelytasot ja kulkutasot. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 1.7.2016. Viitattu 11.3.2025. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

SFS-EN ISO 14122-3:2016. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 3: Portaat, porrastikaat ja suojakaiteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 1.7.2016. Viitattu 11.3.2025. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

SFS-EN ISO 14122-4:2016. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 4: Kiinteät tikkaat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 1.7.2016. Viitattu 11.3.2025. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

SFS-EN ISO 1461:2022. Teräs- ja valurautatuotteiden kuumasinkkipinnoitteet kappaletavaroille. Erittelyt ja koestusmenetelmät. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 30.9.2022. Viitattu 11.3.2025. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

SFS-EN ISO 14713-1:2017. Sinkkipinnoitteet. Ohjeet ja suositukset rauta- ja teräsrakenteiden korroosionestoon. Osa 1: Yleiset suunnitteluperiaatteet ja korroosionkestävyys. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 19.5.2017. Viitattu 11.3.2025. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

Sipola, T. 2021. Maailman ensimmäinen erä fossiilivapaata terästä on valmiina – uusi teknologia vähentää pian Suomen hiilidioksidipäästöjä seitsemän prosenttia. Julkaistu 18.8.2024. Artikkelin Ylen www-sivuilla. Päivitetty 18.8.2021. Viitattu 10.3.2025. <https://yle.fi/a/3-12062634>.

Turunen, T. & Jääskeläinen, J. 2021. Suomen teollisuuden sähköistyminen ja sen vaikutus energiatehokkuuteen ja hukkalämpöjen hyödyntämiseen. Elomatic Oy:n toteuttama tutkimus. Motiva. Viitattu 9.3.2025. https://www.motiva.fi/files/19644/Suomen_teollisuuden_sahkoistyminen_ja_sen_vaikutus_energiatehokkuuteen_ja_hukkalampojen_hyodyntamiseen_-_raportti_2021.pdf.

Sähkökattila saapui Kymijärven voimalaitokselle. 2024. Uutinen Lahti-energian www-sivuilla. Julkaistu 7.8.2024. Viitattu 9.3.2025. <https://www.lahtienergia.fi/ajankohtaista/sahkokattila-saapui-kymijarven-voimalaitokselle/>.

Teollisuuden suunnittelupalvelut elinkaarihankkeisiin. N.d. Caverion – Teollisuuden suunnittelu. Julkaisu Caverion www-sivuilla. Viitattu 10.3.2025. <https://www.caverion.fi/katalogi/palvelut/teollisuuden-laitossuunnittelu/>.

Teollisuus. N.d. Huoltovarmuuskeskus. Viitattu 9.3.2025. <https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/toimialat/teollisuus>.

Teollisuus- ja varastorakennukset. N.d. Elementtisuunnittelu. Sivua päivitetty 29.9.2020. Viitattu 9.3.2025. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/rakennejarjestelmat/teollisuus-ja-varastorakennukset>.

Tietoa teräksestä. N.d. Julkaisu Teräsrakenneyhdistyksen www-sivuilla. Viitattu 28.3.2025. <https://www.terasrakenneyhdistys.fi/teras/>.

Tietomallinnus. N.d. A-insinöörit – Palvelut. Julkaisu A-insinöörien www-sivuilla. Viitattu 10.3.2025. <https://www.ains.fi/palvelumme/muut-asiantuntijapalvelut/tietomallinnus>.

Tietomalliohje suunnittelijoille. 2016. Tampereen kaupunki – Tilakeskus – Kiinteistökehitys. Viitattu 20.3.2025 https://tampereentilapalvelut.fi/materiaalit/suunnitteluohjeet/Tietomalliohje_suunnittelijoille.pdf.

Tiihonen, P. 2023. Yleiskirje 16/2023 Suomen Kuntaliiton www-sivuilla. Viitattu 7.3.2025.
<https://www.kuntaliitto.fi/yleiskirjeet/2023/laki-rakennetun-ympariston-tietojarjestelmasta-voimaan-112024-rakentamisen-ja>.

Tuomi, J. & Sarajärvi, A. 2009. Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi. Helsinki: Tammi. Viitattu 30.03.2025.

Vares, S., Häkkinen, T. & Sulankivi, K. 2015. Tietomallipohjainen ympäristövaikutuslaskenta. VTT. Viitattu 8.3.2025 <https://publications.vtt.fi/julkaisut/muut/2015/VTT-R-04182-14.pdf>.

Vihmo, J. 2025. Suhdanekatsaus – kevät 2025. Rakennusteollisuus RT. Viitattu 8.3.2025.
<https://rt.fi/wp-content/uploads/2025/04/RT-suhdanekatsaus-kevat2025.pdf>.

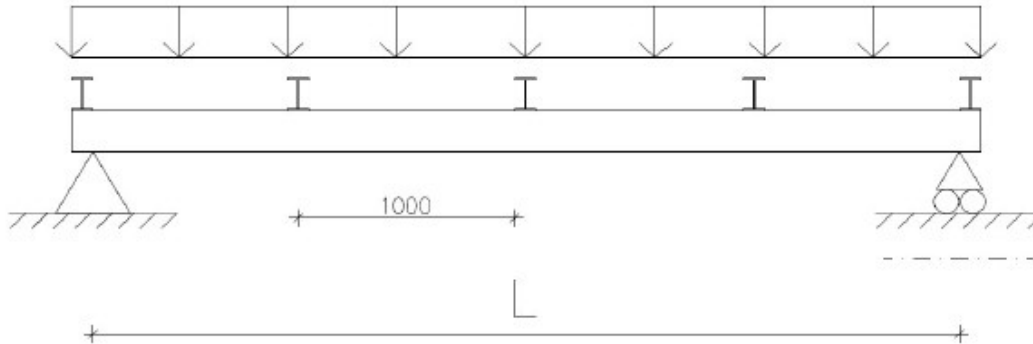
Vähähiilinen rakentaminen. N.d. Tiedote ympäristöministeriön www-sivuilla. Viitattu 10.3.2025.
<https://ym.fi/vahahiilinen-rakentaminen>.

SSAB S355J2+N Zero. N.d. Julkaisu SSAB:n www-sivuilla. Viitattu 21.3.2025.
<https://www.ssab.com/fi-fi/brandit-ja-tuotteet/ssab-zero/s355j2-plus-n-zero>.

Liitteet

Liite 1. Primääripalkin optimointi murtorajatilakuormille

Primääripalkki, L=4m, omapaino + hyötykuorma $2,5\text{kN/m}^2$, sekundäärit IPE160 L=4m k1000



	Paino [kg/m]	L	Paino yht. [kg]	Erotus [kg]
IPE 180	18,8	5	94	8
HEB 100	20,4	5	102	

Täysin optimoituuna HEB-profiilissa ~8,5 % enemmän painoa kuin IPE-profiilissa

Tuotetiedot: BE GROUP, <https://www.begroup.fi/tuotteet/palkit>

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 1 SEKPALK1						
	IPE 160		60.81	216.82	1.00	
9 PRIMPALK1	IPE 180	S355	53.94	194.92	0.71	101 1,15qk+1,5qk
	IPE 200	S355	42.27	142.07	0.57	
9 PRIMPALK1	HEB 100	S355	96.26	157.81	0.60	101 1,15gk+1,5qk
	HEB 120	S355	79.34	130.90	0.37	



	IPE 180 S355J2, 12.1m Tuot. 102074-001576 €	227,48 kg/kpl		HEB 100 S355J2, 12.1m Tuot. 102051-001596 €	246,84 kg/kpl
	IPE 200 S355J2, 12.1m Tuot. 102075-001577 €	271,04 kg/kpl		HEB 120 S355J2, 12.1m Tuot. 102052-001597 €	323,07 kg/kpl

Liite 2. Haastatteluaineistojen tiedonkeruu

Teema	Esimerkki haastatteluvastaus	Yhteenveto/tulkinta	Vaikutus opinnäytetyöhön
Layout-suunnittelun aikataulutus	Usein rakenteet pitää piirtää ennen kuin laitteistot ovat lukossa	Rakennesuunnittelu altistuu aikaisin tehdyille ratkaisuille	Johti kehittämisedotukseen varhaisemmasta integraatiosta
Vakioratkaisujen käyttö	Hyödyllisiä, mutta pitää aina tapauskohtaisesti tarkistaa	Vakiointi toimii ohjeena, mutta ei korvaa suunnittelua	Tuotu esiin johtopäätöksissä ja käsikirjan joustavuudessa
Tietomallin rooli	Törmäystarkastelut vaatii kunnolliset mallit kaikilta	Tietomallit ovat keskeinen työvaihe	Kuvattu BIM-kaavion ja tietomalliproessin yhteydessä
FEM-laskennan hyödyntäminen	Robotilla voi testata kuormitusyhdistelmät ennen varsinaista mitoitusta	FEM-analyysi tukee suunnittelun päätöksentekoa	Esimerkilaskenta optimoinnista sisällytetty liitteeksi
Rakentamislain vaikutus	Tietomallit ja sähköinen aineisto todennäköisesti helpottavat lupaprosessia	Uusi laki tuo digitaalista selkeyttä ja vaatimuksia	Lainsäädäntöanalyysi liitetty suunnittelukontekstiin
Kestävä kehitys ja materiaalihokkuus	Profiilien optimointi vähentää materiaalihukkaa ja pienentää hiilijalanjälkeä	Kestävyystavoitteet saavutettavissa suunnitteluratkaisuissa	Ympäristötavoitteet tuotu mukaan optimointiosioon
Asiantuntijayhteisö	Runkosuunnittelun ajoitus vaatii yhteisymmärrystä muiden kanssa	Suunnittelu vaatii jatkuvaa vuoropuhelua eri alojen välillä	Haastattelut tukivat yhteensovitusnäkökulmaa
Suunnittelumuutokset ja päivitykset	Jos layout muuttuu, joudutaan päivittämään kaikki rakenteet uudelleen	Muutokset aiheuttavat päällekkäistä työtä ilman integraatiota	Suunnittelupohjien hyöty konkretisoitu esimerkein (salassa pidettävä liite)

Liite 3. Tiedonkeruu lähteistä

Lähde	Aihe/sisältö	Keskeiset vaatimukset	Soveltaminen työssä
SFS-EN ISO 14-122-standardisarja	Konesuunnittelun standardi	Määritetään kulkureittien, tikkaiden, portaiden, kaiteiden vaatimukset	Huomioitu mitoitusperiaatteissa ja käsikirjassa
SFS-EN 1993-1-1 -standardisarja	Teräsrakenteiden mitoitus	Kantavuus, stabiilius ja taipumat, liitokset	Sovellettu hoitotason suunnitteluratkaisuihin
Rakentamislaki 751/2023	Tietomallien ja asiakirjojen sisältö	Suunnitteluasiakirjojen tulee olla koneluettavia ja sähköisiä, pätevyysvaatimukset	Yhdistetty tietomalliprosessin ja Ryhti-järjestelmän kuvaukseen, tuloksissa käsitellään pätevyysvaatimuksia ja pätevyysrekisteriä
Ympäristöministeriön asetus 1027/2024	Ilmastaselvitys	Rakennushankkeeseen ryhtyvän tulee laatia ilmastaselvitys	Ilmastaselvitykseen vaikuttavat aiheet huomioitu toimeksiantajan nykyisen suunnitteluprosessin arvioinnissa materiaalihokkuuden kannalta
SFS-EN 1990, SFS-EN 1991-1-1, kansalliset liitteet, RIL-ohjeet	Rakenteisiin vaikuttavat kuormat (pysyvät ja muuttuvat)	Määrittää mm. käyttökuormat ja kuormitusyhdistelmät	Käytetty FEM-laskennan kuormien määrittelyssä ja mitoitusperusteiden valinnassa
Ryhti	Suunnittelun keskitetty keruu ja yhteentoimivuus	Tietomallien ja asiakirjojen tulee olla yhteen toimivia ja sähköisiä	Yhdistetty tietomalliprosessin vaihekuvaukseen, erityisesti suunnittelun digitalisaation vaikutusten yhteydessä

Liite 4. Haastattelurunko

Haastattelurunko

Tämän haastattelun tavoitteena on selvittää rakennesuunnittelijoiden näkemyksiä teollisuusrakennusten (erityisesti hoitotasojen ja sähkökattilarakennusten) suunnitteluprosesseista, vakioinnin mahdollisuuksista sekä kestävä kehityksen huomioimisesta suunnittelutyössä. Haastattelut ovat anonyymejä ja tuloksia käsitellään luottamuksellisesti. Haastattelun arvioitu kesto on noin 30...45 minuuttia. Haastattelu nauhoitetaan analyysia varten ja litteroidaan nimettömästi. Jokaiselta haastateltavalta kysytään lupa haastatteluaineiston käyttämiseksi osana opinnäytetyötä. Haastateltavalla on oikeus perua suostumuksensa haastatteluaineiston käyttämiseen.

1. Taustatiedot (vapaaehtoinen)

- Kuinka kauan olet toiminut rakennesuunnittelijana?
- Minkä tyyppisiä teollisuusrakennuksia olet suunnitellut viime vuosina?

2. Suunnitteluprosessi ja sen haasteet

- Miten kuvailisit hoitotasojen ja/tai sähkökattilarakennusten suunnitteluprosessia käytännössä?
- Mitkä ovat yleisimmät haasteet näiden kohteiden suunnittelussa?
- Mitkä työkalut tai ohjelmistot ovat keskeisiä suunnittelutyössäsi?

3. Vakioinnin nykytila ja mahdollisuudet

- Onko teidän tiimissänne tai yrityksessä käytössä vakioratkaisuja tai -komponentteja?
- Mitä hyötyjä tai haittoja olet huomannut vakioiduista ratkaisuista?
- Mitä asioita mielestäsi olisi hyödyllistä vakioida näiden kohteiden suunnittelussa?
- Minkälaista suunnitteluopasta pitäisit hyödyllisenä työssäsi?

4. Materiaalivalinnat ja teräsprofiilit

- Mitkä teräslaadut ja -profiilit ovat tavanomaisia kohteissänne?
- Miten materiaalivalinnat tehdään – vaikuttavatko niihin esimerkiksi kustannukset, saatavuus tai ekologisuus?
- Onko sinulla ehdotuksia kestävien ja kustannustehokkaiden materiaalivalintojen ohjeistukseen?

5. Kestävä kehitys rakennesuunnittelussa

- Miten kestävä kehitys (ekologinen, taloudellinen, sosiaalinen) näkyy sinun työssäsi?
- Koetko, että rakennesuunnittelijalla on mahdollisuus vaikuttaa rakennushankkeen ympäristövaikutuksiin?
- Millaisia käytännön keinoja olet käyttänyt tai toivoisit käyttäväsi kestävä kehityksen huomioimiseksi?

6. Avoim palaute

- Onko jotain muuta, mitä haluaisit tuoda esiin liittyen suunnitteluprosessiin, vakiointiin tai kestävään kehitykseen?

Liite 5. Rakenteiden mitoitusaulukko (salassa pidettävä)

Liite 6. Rakennesuunnittelijan käsikirja (salassa pidettävä)