

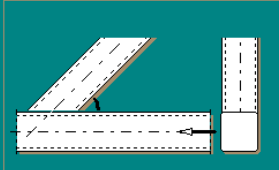
Suositus teräs- ja puurakenteiden mitoittamiseen tarkoitettujen tietokoneohjelmien tulostusominaisuuksista

Rautaruukin Putki- ja Hitsatut profiilit - Square.rrp

File Edit View Window Help

Lisäkomponentit

Hitsattu putki-liitos T/Y/X...



Ø1: 45.0
No: 100 kN
Mo: 5 kNm

Mitoitus X-liitoksena

Rautaruukin neliöputkiprofiilit

H mm	B mm	T mm	R mm	M kg/m	A mm ² x 10 ²	A _u m ² /m	I mm ⁴ x 10 ⁴
110	110	4.0	8.0	12.9902	16.5480	0.4263	305.9368
110	110	5.0	10.0	15.9796	20.3562	0.4228	367.9492
110	110	6.0	12.0	18.8658	24.0329	0.4194	424.5675
110	110	6.3	15.8	19.4441	24.7696	0.4130	430.1351
120	120	3.0	6.0	10.8395	13.8082	0.4697	312.3474
120	120	4.0	8.0	14.2462	18.1480	0.4663	402.2759
120	120	5.0	10.0	17.5496	22.3562	0.4628	485.4745
120	120	6.0	12.0	20.7498	26.4329	0.4594	562.1573
120	120	6.3	15.8	21.4223	27.2896	0.4530	571.5527
120	120	7.1	17.8	23.8112	30.3327	0.4495	623.5230
120	120	8.0	20.0	26.4093	33.6425	0.4457	676.8760
120	120	8.8	22.0	28.6395	36.4834	0.4422	719.8754
140	140	4.0	8.0	16.7582	21.3480	0.5463	651.6160
140	140	5.0	10.0	20.6896	26.3562	0.5428	790.5593
140	140	6.0	12.0	24.5178	31.2329	0.5394	920.4262
140	140	6.3	15.8	25.3787	32.3296	0.5330	940.8209
140	140	7.1	17.8	28.2700	36.0127	0.5295	1031.7093
140	140	8.0	20.0	31.4333	40.0425	0.5257	1126.7730
140	140	8.8	22.0	34.1659	43.5234	0.5222	1205.0275
140	140	10.0	25.0	38.1246	48.5664	0.5171	1311.6725
150	150	4.0	8.0	18.0142	22.0480	0.5863	807.8170

▼ B7 koko ▼ Ei suojausta

T/Y/X-liitos
Paarre : Putkipalkki EN 10219-2 - 140 x 140 x 5.0 S355J2H EN 10219
Diagonaali : Putkipalkki EN 10219-2 - 120 x 120 x 4.0 S355J2H EN 10219
CIDECT RHS 3afyo=355.0 < 355.0 N/mm²
CIDECT RHS 3afy1=355.0 < 355.0 N/mm²

Mitoitus T/Y/X-liitos

For Help, press F1

8.8.2006

Tapio Leino
VTT

Sisällysluettelo

TIIVISTELMÄ

ALKUSANAT

1	1. YLEISTÄ	5
1.1	Suunnittelun ja mitoituksen dokumentointi	5
1.2	Mitoitusohjelmien ominaisuudet	6
1.3	Tietokonemitoituksen ongelmakohdat	9
2.	LÄHTÖTIEDOT JA TIETOKONEOHJELMIEN KÄYTTÖ	11
2.1	Interaktiivinen CAE	11
2.2	Lähtötiedot ja tulosteet	12
2.3	Laskelmat ja vaatimuksenmukaisuus	12
2.4	Kestävyystarkastelut	15
	2.4.1 Rakenteiden murtorajatilamitoitus	16
	2.4.2 Rakenteiden käyttörajatilamitoitus	17
3.	YHTEENVETO	19

KIRJALLISUUS

TIIVISTELMÄ

Oheinen rakennesuunnittelun mitoituslaskelmia ja niiden dokumentointia koskeva suositus ja ohje on laadittu tarpeeseen, joka on ilmaistu maankäyttö- ja rakennusasetuksen 50 §:ssä, missä määritellään ”rakennuksen olennaiset tekniset vaatimukset”. Piirustukset samoin kuin rakenne- ja mitoituslaskelmat muodostavat yhdessä muiden laadunvarmistukseen ja pätevyyksien toteamiseen tarkoitettujen asiakirjojen kanssa ns. ”vaatimuksenmukaisuuden toteamisaineiston”, joka pitää koota kaikissa rakennuskohteissa.

Erityisen vaativissa rakennuskohteissa aineistoa käytetään mm. suunnitelmien ulkopuoliseen tarkastukseen. Rakennesuunnitelmien ulkopuolinen tarkastus suoritetaan ennen rakentamista, ja sen tarkoituksena on tunnistaa ja korjata tai muuttaa mahdolliset virheelliset tai riskialttiit suunnitelmat. Rakenne- ja valmisosien tai rakenteiden valmistuksen laadun varmistamiseen käytetään muita menetelmiä.

Rakenteiden suunnittelussa on kaksi vaihetta: 1) rakenteiden rasiusten analysointi ja rakenneratkaisujen valinta, 2) valittujen rakenneratkaisujen yksityiskohtainen mitoitus. Tämä ohje koskee lähinnä vaihetta 2, ja siinä syntyviä dokumentteja, joilla on olennaisena tehtävänä todistaa kunkin rakenneosan kestävyys (tai jokin muu vaatimuksenmukaisuus). Kestävyyttä ei voi todeta rakenteen piirustuksista. Siksi mitoituslaskelmista tulee selvitä ns. ”audit trail”, eli katkeamattomana ketjuna esitys siitä miten ja mistä laskenta-arvot on saatu ja miten laskelmien lopputuloksiin on päädytty.

ALKUSANAT

Hitsausliitosten suunnitteluun tarkoitettu ohje on laadittu osana laajempaa tutkimusta, jota ovat rahoittaneet opetusministeriö, ympäristöministeriö, VTT, Teräsrakenneyhdistys ja Wood Focus. Osa tutkimuksen projekteista on koskenut puurakenteita.

Oheiset ohjeet on laadittu rahoittajien muodostaman johtoryhmän ohjauksessa. Ohjeen tekstiä on kommentoitu myös ulkopuolisten toimesta. Projektin johtoryhmään kuuluivat seuraavat henkilöt:

- Risto Järvelä, opetusministeriö, Risto.Jarvela@minedu.fi
- Teppo Lehtinen, ympäristöministeriö, Teppo.Lehtinen@ymparisto.fi
- Unto Kalamies, Teräsrakenneyhdistys ry, Unto.Kalamies@rakennusteollisuus.fi
- Jaakko Huuhtanen, ympäristöministeriö, Jaakko.Huuhtanen@ymparisto.fi
- Pekka Nurro, Woodfocus, Pekka.Nurro@woodfocus.fi
- Tapani Tuominen, SPU Systems Oy, Tapani.Tuominen@spu.fi

Lisäksi johtoryhmän kokouksiin osallistuivat:

- Tapio Leino, VTT, Tapio.Leino@vtt.fi (johtoryhmän sihteeri)
- Mauri Peltovuori, Mauri.Peltovuori@minedu.fi
- Markku Korttesmaa, VTT, Markku.Korttesmaa@vtt.fi

1. YLEISTÄ

1.1 Suunnittelun ja mitoituksen dokumentointi

Riippumatta siitä onko rakennuksen runkomateriaalina käytetty terästä /1-6/, puuta /8-11/ tai betonia /7/, rakennesuunnittelun tavoitteena on täsmentää rakennuksen alustavissa esi- tai tarjousuunnittelun vaiheissa laadittuja tai viite- tai luonnossuunnitelmia, joissa on primääristi määritelty tilojen tarve ja käyttö sekä rakennuksen sijoitukseen, ulkonäköön ja kustannuksiin liittyviä seikkoja. Tarjousuunnittelu käsittää rakenteiden massalaskentaa, joka perustuu rakenneosien profiilien, mittojen ja paksuuksien määrittelyyn.

Toteutusvaiheessa rakennesuunnittelun tavoitteena on tuottaa piirustukset ja ohjeet rakennustuotteiden valinnalle ja/tai valmistukselle, ja myös itse rakentamiselle. Suunnitelma-asiakirjat tai projektieritelmät, jotka koostuvat rakennelaskelmista, piirustuksista, työselityksestä ja laadunvarmistusdokumenteista, sekä niiltä vaadittava sisältö ja laatutaso on kuvattu mm. Rakennusinsinöörien liiton RIL uudessa ohjeessa numero RIL 229-2005.

Ohje RIL 229-2005 ei kuitenkaan kuvaa kyseisten dokumenttien laatimiseen liittyviä työtehtäviä tai vaiheita tai dokumentaatioon liittyviä substanssivaatimuksia. Se ei ota kantaa ovatko dokumentit riittävän kattavia tai onko ne laadittu täysin Maankäyttö- ja rakennuslain (MRL) tai Suomen rakentamismääräyskokoelman tai Eurokoodien määräysten ja ohjeiden mukaisesti. Se kuvaa primääristi dokumentointimenettelyä, jossa jokaisella dokumentilla on tietty käyttötarkoitus suhteessa rakentamisen vaiheisiin, eivätkä dokumentit ole päällekkäisiä. Se täydentää Suomen rakentamismääräyskokoelman ohjeita siltä osin mikä koskee niissä lueteltuja laatudokumentteja, eli rakennuskohteen vaatimuksenmukaisuuden toteutamisaineistoa.

Dokumenttien olemassaolo ei kuitenkaan ole riittävä ehto, eikä se kokonaan poista riskiä, että kaikki rakenteet eivät ehkä ole riittävän kestäviä tai muuten sopivia käyttötarkoitukseensa. Kohdekohtaisten dokumenttien, ja erityisesti kestävyyslaskelmien olemassaolo poistaa kuitenkin sellaisen riskin mahdollisuuden, että jotakin olisi suunniteltu ja piirretty paperille tekemättä mitään siihen liittyviä (lähes pakollisia) lujuus- ja kestävyystarkistuksia. Siksi laskelmien toimitus on yksi olennainen osa organisaatoriskien hallintaa.

Käytännössä suunnittelua ja mitoitusta tulee tehdä sekä koskien valmiita rakennuksia tai rakennusta että myös koskien sen erilaisia välitiloja, kuten esimerkiksi koskien rakennusosien ja tuotteiden väliaikaista tuentaa, niiden nostoja ja siihen liittyviä kuormitustilanteita /12-16/ sekä muutossuunnittelua. Erityisesti muutossuunnittelu on virhealtista, ja siinä pitää tunnetuista vauriotapauksista ja sortumista saatujen kokemusten valossa olla erityisen tarkkana, että käytetään hyväksi alkuperäistä tai vastuullista rakennesuunnittelijaa, jotka käytännössä ovat ainoat tahot, joilla on näpeissään kokonaisuuden hallinta, ja rakenteiden kokonaistoimivuus. Suuri osa rakennusvaurioista on tapahtunut, koska muutoksia on tehty muiden, jopa täysin asiaa tuntemattomien toimesta.

Eräissä vauriotapauksissa on vaadittujen dokumenttien olemassaolosta huolimatta voitu todeta, että rakenneanalyysit ja kestävyyslaskelmat on tehty väärin. Ongelma on osittain ollut valittujen suunnittelijoiden pätevyys, joka ei ole ollut riittävä, ja osittain suunnittelun laadun valvonta, joka ei ole toiminut. Oleellinen osa laadunvalvontaa on mitoituslaskelmissa. Laskelmat ovat käytännössä ainoa dokumentti, mistä voidaan todeta rakenteiden kestävyys. Vain kaikkein tärkeimmät virheet voidaan havaita piirustuksista tai silmämääräisin tarkastuksin.

Jos rakennushankkeeseen ryhtyvä taho huolehtii siitä, että kaikilla toimijoilla on riittävä pätevyys ja selvittää itselleen suunnittelun ja myös valmistuksen laadunvalvontaan liittyvät yksityiskohdat, voidaan olettaa, että merkittävät vaurioriskit poistuvat.

Yksi tyypillinen sudenkuoppa liittyy rakenteiden suunnitteluun ja dokumentointiin, koskee viittauksia esimerkiksi sovellettaviin standardeihin tai varmennettuihin käyttöselosteisiin, jotka eivät ehkä kuitenkaan kata juuri niitä rakenteelta vaadittuja ominaisuuksia, joiden takia suunnittelijat tekevät viittauksia tai käyttävät kyseisiä tuotteita. Työmaalla ei yleensä ole käyttöselosteita, jolloin käytännössä työmaalla ei tiedetä mitä suunnittelija tarkoittaa.

Hankkeeseen ryhtyvän tahon ja muiden rakentamisen osapuolien pitäisikin yhdessä huolehtia siitä, että kutakin toteutusvaihetta varten laaditaan riittävät piirustukset, jotka yksinään ilman viittauksia muihin dokumentteihin selvittävät riittävän tarkasti miten rakenteet tulee toteuttaa. Samoin tulee varmistua siitä, ettei työmaalla rakenneta ilman suunnitelmia.

Kuvassa 1 on esitetty tyypillinen tietokoneella laadittu mitoituslaskelma. Laskelmasta käy selville, että kyseessä on kehärakenteen nurkan (K-liitos) mitoituslaskelma. Siitä selviää vällillisesti myös käytetty materiaali, mutta siitä ei käy selville, minkä suunnitteluohjeen mukaan laskelmat on tehty. Siitä ei myöskään selviä käytetyt laskentakaavat, koska muuttujien nimet poikkeavat standardista, eikä siitä selviä tarkastelujen riittävyys. Epäilemättä tulostus kelpaa asianomaiselle suunnittelijalle todisteeksi valitun geometrian kelvollisuudesta, mutta kenellekään muulle kyseisestä laskentasisivusta ei ole hyötyä, eikä sitä voi pitää kelvollisena suunnitelmadokumenttina. Rakennesuunnitelmien ulkopuolinen tarkastaja ei voi käyttää kuvan 1 dokumenttia apuna omassa työssään.

Kuva 2 esittää Winrami-ohjelman tulostetta, missä ei ole edellä mainittuja puutteita, ja tuloste kelpaa liitettäväksi osaksi vaatimuksenmukaisuuden toteamisaineistoa.

1.2 Mitoitusohjelmien ominaisuudet

Vaikka suunnittelun lopputuotteena onkin valmistuksen osalta yleensä piirustus, suunnitelmia ja laskelmia tarvitaan myös muista syistä. Detaljipiirustuksiin merkitään yksityiskohdittain sekä kantavien että sekundääristen rakenteiden mitat ja muut ominaisuudet, jotka tarvitaan niiden valmistuksessa. Valmiiden rakenteiden rakennusfysikaaliset tai lujuustekniset ominaisuudet eivät kuitenkaan käy ilmi piirustuksista. Piirustuksiin liittyvät geometriatiedot ja ainespaksuudet valitaan vaadittujen ominaisuuksien suhteen, ja valinnat tapahtuvat nykyisin tietokoneella tehtävien mitoituslaskelmien yhteydessä.

Suunnittelu- ja mitoitusohjelmilta vaaditaan seuraavia yleisiä ominaisuuksia:

- 1) Ohjelmalla voidaan käsitellä mahdollisimman kattavasti erilaiset kyseeseen tulevat rasitustilanteet ja kuormitustapaukset,
- 2) Ohjelmassa on sen oman Input-mahdollisuuden lisäksi erilaisia mahdollisuuksia lukea sisään ja hyödyntää muiden sovellutusten antamia tuloksia tai tulostuksia sekä geometrian että rakenteen muiden ominaisuuksien tai vaatimusten suhteen,

Kehä K-liitos 1.xls

k-liitosSolmu nro **34** Model: Kehä

	h, mm	b, mm	t, mm	N, kN	Θ , °	M, kNm	r, mm	A, mm ²	I, mm ⁴	W, mm ³
Paarre, N ₀	100	100	4	275		0.0	8	1495	2263517	45270
Uumasauva1, N ₁	40	40	3	45	53	0	6	421	93236	1865
Uumasauva2, N ₂	40	40	3	-45	53	0	6	421	93236	1865

(N₀ ja N₂ on aina oltava samansuuntaisia!!! (-)merkki -> PURISTUS!!!)g **30** mme **3.1** mm

3.138475

Epäkeskisyyys ok

Me = 0.08 kNm

Parametrit

Päätevyysalue

Laskentakaavat

Mitoitusehto

Paarteen leikkausrajatila

alfa 0.11

Av 846

ho/to 25.0 < 40

Vo1 35.9 kN

Vo2 35.9 kN

Vo 35.9 kN

VRo 180.2 kN

Vo/VRo 0.20 < 1

Paarteen murtorajatila

e' 2.37

kv 0.98

ho/bo 0,5 < 1 < 2

,55*ho 55 > e

e/ho 0.03

No 247.9 kN

Mo 0.0 kNm

NRo 524.6 kN

MRo 18.1 kNm

(|No|/NRo)^1,5+|Mo|/MRo

0.32 < 1

Paarteen pinnan murtorajatila

beta* 0.40

beta 0.40

bo/to 15 < 25.0 < 35

b1/bo 0.40 > 0.35

b2/bo 0.40 > 0.35

NR1 89.6 kN

NR2 89.6 kN

ja < 1,1*(E/fy)^0,5

|N1|/NR1 0.50 < 1

|N2|/NR2 0.50 < 1

sigmao 165.9 N/mm²

my 1.00

b1/t1 13.3 < 35

b2/t2 13.3 < 35

*tämä ehto vain puristusauvalle

*tämä ehto vain puristusauvalle

Uumasauvojen murtorajatilat

be 21.3

g/bo 0.30 < 0.30 < 0.90

30 30 90

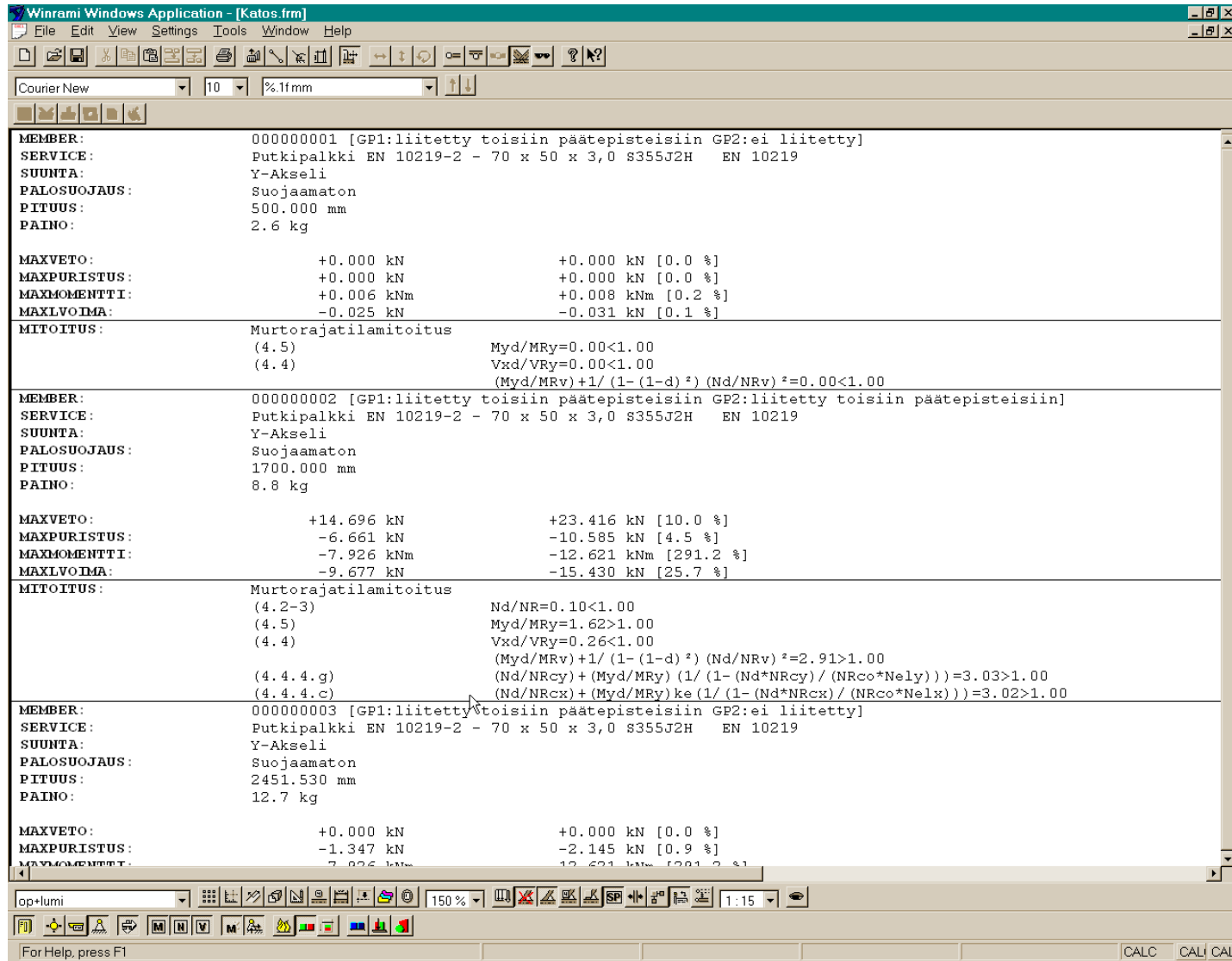
NR1 137.7 kN

NR2 137.7 kN

|N1|/NR1 0.33 < 1

|N2|/NR2 0.33 < 1

Kuva 1. Tyypillinen tietokoneella laadittujen mitoituslaskelmien tuloste, mistä ulkopuolisen on vaikea tarkastaa mitään.



Kuva 2. Winrami-ohjelman tuloste, missä selkeästi laadut, otsikot, mitoituskuormat, standardit ja tuotemerkinnät.

- 3) Ohjelma tarkistaa syöttötietojen oikeellisuuden, eli ohjelmassa on sisäinen tarkastus, joka tunnistaa lähtötietojen suuruusluokat, kun mittayksiköt (esim. SI) on valittu,
- 4) Ohjelmat tarkastavat lähtötietojen suuruudet siltä osin kuin suunnitteluohjeissa on niitä tai mitta-arvojen suhteita koskevia rajoituksia, esimerkiksi johtuen suunnitteluohjeiden kaa-vojen voimassaolosta. Ohjelmien tulee raportoida sellaisista lähtötiedoista, joiden osalta suunnitteluohjeiden mitoituskaavojen soveltuvuus on vähänkin kyseenalainen.
- 5) Ohjelmien mitoitusosat toimivat valinnaisten suunnitteluohjeiden (EC, RakMk, tms.) mukaisesti siltä osin kuin se on mahdollista, mutta tulostavat laskelmiin selvityksen ko. ohjeiden mukaisten laskelmien mahdollisista rajoituksista,
- 6) Kaikki ohjelman tekemät yhteen projektiin liittyvät luku- ja luokituslaskelmat pitää olla mahdollista valmistella otsikoilla ja tulostaa yhtenä dokumenttina liitettäväksi projektieritelmiin,
- 7) Ohjelmista pitää saada laskelmia koskevia tulosteita eri tasoissa erilaisia tarpeita (valmistus, kuljetus, asennus, ulkopuolinen tarkastus, viranomaistarkastus) varten.

Sekä hankkeeseen ryhtyvän tahon että suunnittelijan kannattaa tiedostaa seuraavat perusehdot kaikenlaisten suunnittelun apukeinojen käytöstä. Rakennuttaja ostaa suunnittelijalta pätevää asiantuntijapalvelua, jonka tehostamiseksi suunnittelija voi/saa käyttää uusia ja edistyneitä apuvälineitä. Niihin liittyy seuraavat pelisäännöt:

Sekä rakenteiden analysoinnissa että mitoituksessa rakenteen suunnittelijalla on ensisijainen ja vastuullinen rooli.

Vastuullinen rakennesuunnittelija vastaa siitä, että eri tekijöiden laatimat rakennesuunnitelmat yhdessä muodostavat toimivan kokonaisuuden.

Tietokoneohjelmien toimittajilla ei ole vastuuta siitä miten ohjelmia käytetään.

Vastuullisen rakennesuunnittelijan tehtävä on korostuneen tärkeä, koska esimerkiksi rakennesuunnittelu jakautuu usein erillisiksi eri toimijoiden suorittamiksi runko-, kuori-, välipohja-, perustus-, tuoteosa-, valmistus- ja asennussuunnittelutehtäviksi.

1.3 Tietokonemitoitukset ongelmakohdat

Tietokoneen avulla suoritettuihin mitoituslaskelmiin liittyy eräitä "sudenkuoppia" minkä takia kyseisiä laskelmadokumentteja voi olla vaikeaa hyväksyä osaksi rakenteesta toimitettavia tai tallennettavia laskelmia. Niiden hyväksyntä helpottuu, jos alla mainittuja asioita on käsitelty projektieritelmissä:

- a) Lähtötietojen dokumentointi (on usein ollut melko alkeellista, eikä lähtötietojen mahdollisia virheitä ole ehkä analysoitu),

- b) Rakenteen analysoinnin perustana olevat oletukset ja kuormitukset (joita ei ehkä ole käsitelty viranomaisten kanssa, eikä niitä ehkä noudateta rakenteiden yksityiskohtien mitoituksessa tai valmistuksessa),
- c) Rakenteen kuormitusten kohdistaminen muualle kuin varsinaisesti niitä ensisijassa kantaville rakenneosille (erityisesti 3-D-rakennemalleissa kuormat syötetään suoraan kehille),
- d) Laskelmat (joita laaditaan mitoituskaavoilla, jotka eivät sovellu kyseiseen tapaukseen),
- e) Rakenteiden epäkeskeisyydet (joiden vaikutuksia ei oteta laskelmissa huomioon),
- f) Onnettomuuskuormitustilanteet tai mahdolliset onnettomuusskenaariot (törmäykset tms.),
- g) Analyysitulosteet (jotka eivät osoita tai näytä, miten niihin on päädytty tai että mitä ohjeita tai kaavoja on kestävyyksien laskennassa käytetty),
- h) Tulosten tulkinta liian yleispätevänä (tulosten virhetarkastelua ei ole tehty),
- i) Vertailulaskelmia (ei ole tehty erilaisilla lähtöarvoilla tai reunaehdoilla),
- j) Rakenteen oletettu murtumismuoto (joka ei selviä rakennelaskelmista, vaikka on mitoitettu murtorajatilassa),
- k) Käyttöraja (tai siihen liittyviä vaatimuksia tai laskentatuloksia ei ole käsitelty).

Mikään tietokoneohjelma ei automaattisesti suorita edellä mainittuja tarkasteluja. Useissa ohjelmissa kaikkia tarkasteluja ei voi tehdä edes valinnaisina, minkä takia suunnittelijan tulee tarpeellisilta osin täydentää niitä käsin tehtävillä laskelmilla. Tyypillisiä käsin tehtäviä laskelmia ovat kiinnitysosien mitoituslaskelmat, kuten ruuvien ja hitsien ja niihin liittyvät muut laskelmat.

Suunnittelija vastaa oman pätevyytensä puitteissa siitä mitä kaikkia selvityksiä ja lujuuslaskelmia on tarpeen tehdä, ja siitä, että kaikki tarvittavat selvitykset tehdään.

Tietokoneohjelma ei välttämättä suorita kaikkia tarpeellisia tarkasteluja, koska suunniteluohjeetkaan eivät kata kaikkia mahdollisia rakennesovellutuksia.

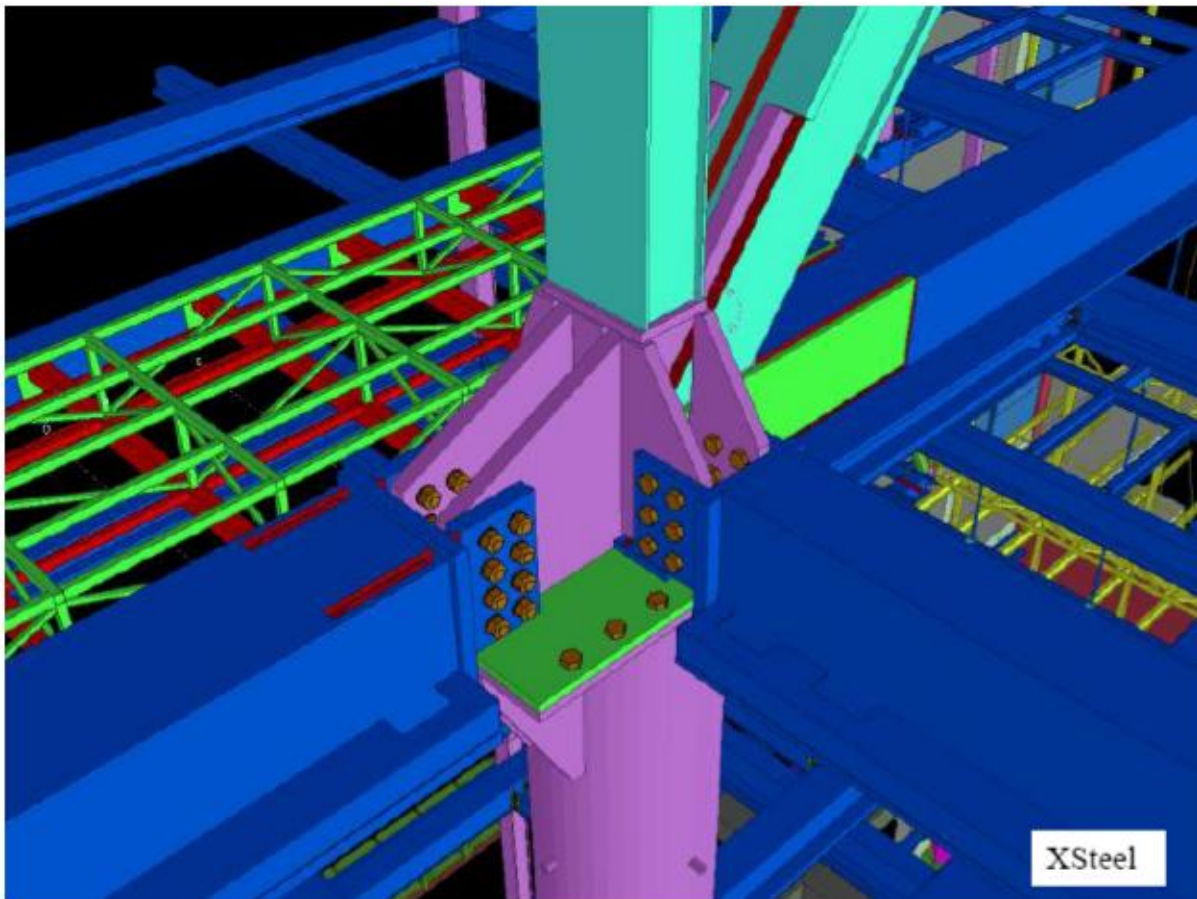
Jos liittyy johonkin tehtävään, ohjelma EI mainosta tekevänsä tiettyjä tarkasteluja, on syytä olettaa, että se EI myöskään tee sellaisia. Esimerkiksi, monet ohjelmat mitoittavat rakenneosia, mutta eivät mitoita niiden välisiä liitoksia!

Tietokoneohjelmat Eivät optimoi tai tutki vaihtoehtoisia rakenteita esimerkiksi niiden sitkeyden tai muiden ominaisuuksien osalta, ellei niitä ole tehty juuri sellaiseen tehtävään.

2. LÄHTÖTIEDOT JA TIETOKONEOHJELMIEN KÄYTTÖ

2.1 Interaktiivinen CAE

Nykyisin ollaan yhä enemmän menossa siihen, että projektissa suunnittelua tekevät tahot ja myös valmistavat tahot ovat yhteydessä toisiinsa projektipankin avulla. Projektipankissa tallennetaan sekä puolivalmiit, valmiit mutta hyväksymättä olevat sekä hyväksytyt dokumentit, joiden perusteella tehdään ostot, valmistetaan elementit ja suunnitellaan kuljetukset ja muut rakenteiden toimittamiseen ja asentamiseen liittyvät yksityiskohdat. Projektipankkeja perustetaan tarpeiden mukaan. Niissä oleellisena etuna on mahdollisuus mallintaa rakennus (kuva 3), suorittaa suunnitelmien keskinäiset törmäystarkastelut, ja valvoa dokumenttien valmistumista tai hyväksyntätilannetta. Mallista saadaan graafisia tulosteita kuten mittapiirustukset tms.



Kuva 3. CAE-järjestelmällä tehty suunnitelma ja rakennemalli (Meriläinen/AKo).

Törmäystarkasteluissa oleellisia ovat rakenne- ja LVIS-suunnitelmien keskinäisten suhteiden tarkastelut. Niiden avulla mm. poistetaan tai vähennetään muutossuunnittelun tarvetta. Projektipankin toinen suoranaisten hyöty on suunnittelun ja hankintojen samanaikaisuus, mikä mahdollistaa rakentamisen aloittamisen jo ennen kuin projektin kaikki suunnitelmat ovat valmiina.

Rakentajien kannalta tällaisista järjestelmistä saatava hyöty liittyy mahdollisten virheiden ja muutostöiden kustannusten säästöön ja rakennusajan mahdolliseen lyhenemiseen, mutta samalla projektien vaativuustaso kasvaa, ja rakentamisessa mukana olevien tahojen keskinäisen riskejä, virheitä ja ongelmia ennakoivan kommunikaation tarve lisääntyy. Itse tietokoneohjelmissa rakennukset ja niiden osat muodostuvat tai koostuvat yksittäisten puoli-valmisteiden, tuotteiden ja niiden välisten detaljien muodostamista tuotemalleista tai niiden yhdistelmästä.

Tuotemalleja tai niiden tekniikkaa ei ole tarkoitus kuvata tässä esityksessä.

2.2 Lähtötiedot ja tulosteet

Rakennesuunnittelua ja mitoitusta varten tarvitaan mm. seuraavia lähtötietoja:

- 1) Arkkitehtisuunnitelmat, tilasuunnitelmat (CAE-järjestelmästä),
- 2) materiaalitiedot ja -valinnat, materiaalien kohdekohtaiset erityisvaatimukset,
- 3) rakenteiden omapaino, hyötykuormat, muut kuormitukset ja rasitukset,
- 4) ulkomaisissa kohteissa tarvitaan tiedot erikoiskuormituksista,
- 5) muut Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaiset vaatimukset,
- 6) muut projektikohtaiset vaatimukset,
- 7) tiedot mahdollisista vaihtoehtoisista rakenneratkaisuista, joiden välillä optimoidaan.

Rakenneanalyysin ja suunnittelun tulosteet, jotka tulee saada tietokoneohjelmistakin, ovat:

- 1) Erilaiset kuormitus ja rakennelaskelmat, graafiset tulosteet osien rasituksista,
- 2) kuormituskaaviot kuormien siirtymisestä perustuksille,
- 3) piirustukset ja osaluettelot, sekä merkinnät materiaaleista tms.
- 4) työselitys, ja projektieritelmän osia joita täydennetään materiaali- ja muilla todistuksilla,
- 5) muut valmistusta ja asennusta tukevat ohjeet, tulosteet ja dokumentit,
- 6) valmistuksessa käytettävien koneiden ohjaustiedot,
- 7) viranomaisdokumentaatio.

Seuraavissa kohdissa tarkastellaan erityisesti rakennelaskelmia ja rakenteiden mitoitusta sekä kestävyyksien laskentaan liittyviä tulosteita ja erilaisia muita seikkoja.

2.3 Laskelmat ja vaatimuksenmukaisuus

Hankkeeseen ryhtyvän tulee myös huolehtia, että rakennuskohteesta kertyy valmistuksen aikana asianmukainen **Laadunvarmistuksen ja kelpoisuuden toteamisaineisto**. Aineisto pitää laatia Suomen Rakentamismääräyskokoelman (RakMK) mukaisesti, ja se kuvaa mitä dokumentteja tulee toimittaa rakennuksen vastaanottotarkastukseen.

Kelpoisuuden toteamisaineistossa, rakenteiden laskelmilla osoitetaan mitä rasituksia kohdistuu yksittäisiin rakenneosiin ja niiden yksityiskohtiin ja liitoksiin. Laskelmilla osoitetaan, että rakenneosat ja liitokset kestävät niihin vaikuttavat kuormat ja muut rasitukset /12-16/ ja että rakenteet vastaavat sekä tilaajan vaatimuksia että yhteiskunnan Maankäyttö- ja rakennuslainsa (MRL) ja asetuksessa (MRA) esitettyjä olennaisia teknisiä vaatimuksia.

Rakenteiden kestävyys ja vaatimuksenmukaisuus on todettavissa vain rakennelaskelmista, minkä takia hankkeeseen ryhtyvän tahon tulee huolehtia siitä, että riittävät selkeät rakennelaskelmat on laadittu pätevän henkilöstön toimesta ja tallennettu sekä mahdollista suunnitelmien tarkastusta että rakenteiden valmistusta ja asennusta varten. Laskelmia tarvitaan myös jos rakennuksessa tehdään muutos- tai laajennustöitä.

Vaativimmissa rakennuskohteissa on riskien hallinnan näkökulmasta ensiarvoisen tärkeää huolehtia siitä, että suunnittelija toimittaa mahdollisimman täydelliset suunnitelmat (ilman viittauksia sovellettaviin standardeihin tai muihin dokumentteihin). Lähtökohtaisesti, kaikki rakenteiden valmistuksessa ja toimittamisessa tarpeelliset tiedot pitää löytyä suunnittelijan toimittamasta dokumentaatiosta omista paikoistaan, jonka määrittelee ohje RIL 229-2005.

Laskelmien osalta dokumentoinnissa tulee noudattaa sellaista menettelytapaa, jossa tallennetut mitoituslaskelmat on mahdollista tarkistaa ulkopuolisen toimesta. Käytännössä se merkitsee, että laskelmissa on esitetty ohje, johon laskelmat perustuvat, sekä käytetyt kaavat ja kaavojen numerot kyseisessä ohjeessa.

Suunnitteluprojektin dokumentaatio eli vaatimuksenmukaisuuden toteamisaineisto pitää laatia projektikohtaisesti !

Tärkeintä erilaisissa ja eritasoisissa piirustuksissa on se, että niistä näkyy **KAIKKI** valmistuksessa ja rakenteiden pystytyksessä tarvittavat tiedot.

Työselitys on tärkeä siksi, että sillä suunnittelija varmistaa, että hänen tekemänsä perusolettamukset tunnetaan työmaalla, ja ne toteutuvat valmiissa rakenteessa. Työselityksen tärkeyden korostamiseksi se pitää laatia vain sellaisista asioista, jotka **EIVÄT** näy piirustuksista.

Tärkeintä rakennelaskelmissa on se, että niistä voidaan todeta rakenteiden, rakenneosien ja niiden yksityiskohtien kestävyys, ja rakenteen tai sen osan mahdollinen murtotapa!

Riski suunnittelu- ja valmistusvirheiden esiintymiselle kasvaa, jos projektin dokumentaatio listaa kaikki tunnetut tai mahdolliset ja todennäköiset sovellettavat ohjeet ja standardit. Kyseisiä standardeja ja käyttöselosteita tms. ei yleensä löydy työmaalta, missä suunnitelmia luetaan ja tarvitaan!

Teräsrakenteiden suunnitteluohjeen B7 /1/ kohdan 1.3.1 mukaan (tätä voidaan soveltaa sekä teräsrakenteille että betonielementtirakenteiden teräksisille liitososille) rakennelaskelmien tulee sisältää ainakin seuraavat asiat:

- rakennemallit, rakenneluokka,
- kuormat, kuormitusyhdistelmät,
- lasketut voimasuureet,
- rakenteiden mitat ja ainestiedot,
- murtorajatilatarkastelut,
- käyttörajatilatarkastelut.

Ohjeen B7 kohdan 1.3.2 mukaan teräsrakenteiden suunnitteluasiakirjojen tulee sisältää toteutusta varten rakenteen koko-, geometria- ja rakenneainetietojen lisäksi laatuvaatimukset val-

mistukselle ja asennustyön tulokselle siten, että toteuttajalla on tarvittavat perusteet laatusuunnitelman laatimiselle.

Puurakenteiden osalta dokumentaatioissa pitää lisäksi olla mukana rakenteen käyttöluokka.

Betonirakenteiden ja betoniin tai sen pintaan upotettavien teräsosien osalta suunnitelmien tulee sisältää laskelmat tai suunnitelmat koskien osien säilyvyyttä ja pitkäaikaiskestävyyttä.

Teräsrakenteiden piirustuksissa tai suunnittelijan hyväksymässä projektieritelmässä esitetään rakenteiden kestävyysliittymien vähintään:

- rakenneluokka,
- hitsiluokka,
- hitsien hyväksikäyttöaste niistä hitseistä, joissa se ylittää arvon 0,5
- suunnitelmissa käytetyt hyötykuormien ominaisarvot,
- aineiden ja tarvikkeiden laatu,
- rakenteiden mitat, muoto ja sallitut mittapoikkeamat,
- rakenteiden ympäristöluokitus ja rakenteiden suojaustavat,
- muut tarpeelliset tiedot, kuten esimerkiksi:
 - väsytytkuormitetun rakenteen valmistusta koskevat erityisvaatimukset (esimerkiksi polttoleikkausluokka, reikien tekotapa yms.),
 - lamellirepeilyvaaralle alttiiksi joutuvien aineiden hankintaa koskevat erityisvaatimukset,
 - esitettävä kuumasinkittävät osat ja suunniteltu sinkkikerroksen paksuus,
- tarve erillisen laatusuunnitelman laatimisesta toteuttajalta, jonka sisäinen laadunvalvonta ei ole hyväksytyn tarkastuslaitoksen jatkuvassa valvonnassa,
- käyttö- ja huolto-ohje tarvittaessa,
- valmisosien osalta esitetään lisäksi:
 - paino,
 - siirto- ja nostokohdat,
 - käsittely-, tuenta- ja nosto-ohjeet.

Puurakenteiden dokumentaatioissa tulee olla mukana seuraavat asiat:

- rakennustarvikkeiden laatu, kuten esim. rakennesahatavaran lujuusluokka, kosteusluokka, liimapuukannatteiden lujuus- ja liimausluokka ja tiedot mahdollisista tyyppihyväksynnöistä,
- rakennustyöhön tarvittavat mitat,
- asennusohjeet,
- liimapuurakenteen toimituskosteus, sekä
- laajenemis- tai kutistumisvarat, mikäli rakenne joutuu valmiissa rakenteessa kostempaan tai kuivempiin olosuhteisiin kuin rakennusaikana, ja
- tarvittaessa rakenteiden kuivattamissuunnitelma.

Betonirakenteiden osalta dokumentaatioissa tulee lisäksi selvittää betonin käyttöikänsä, eli virumiseen, halkeiluun, suojaamiseen ja säilyvyyteen liittyvät seikat.

2.4 Kestävyystarkastelut

Rakenteiden lujuus- ja kestävyyslaskelmat jakautuvat kahteen osuuteen:

1) Rakenteiden ja kuormien mallinnus ja rakenneanalyysi

Rakenteiden ja kuormien mallinnus tehdään usein tarjoussuunnitteluna ennen kuin sopimus rakentamisesta on tehty. Rakenteiden mallinnuksessa ja analyysissä tulee ottaa huomioon seuraavat asiat:

- a) Rakenteiden mallinnus pitää suorittaa mahdollisimman realistisesti joko kahdessa (2D) tai kolmessa (3D, kuva 3) dimensiossa, mutta kuitenkin siten, että rakenneanalyysistä saadaan kuhunkin tarpeeseen rakenneosan tai ko. kohdan mitoitusta varten määräävät rasitukset, joiden suhteen rakenteen pitää toimia kestävästi. 2D-analyysissä käytettäessä on huomattava, että joidenkin rakenneosien tai yksityiskohtien määräävä kuormitus saattaa muodostua kuormitusyhdistelmästä, missä osana voi vaikuttaa kuormitus tarkastelutason normaalin suunnassa (esim. päätyyn vaikuttava tuulikuorma voi aiheuttaa rakennuksen kattoristikoihin niiden parresauvojen suuntaisia rasituksia!).

Käytettäessä 3-D-ohjelmistoja rakenteiden kuormitukset pitää kohdistaa todenmukaisesti niihin rakenneosiin, jotka ne ensisijaisesti ottavan kantaakseen. Primääri-rakenteen tehtävä on siirtää kuormat edelleen muille rakenteille, ja tietokoneohjelman käytön tavoitteena on ilmaista kuhunkin rakenneosaan kohdistuvat todelliset rasitukset. Esimerkiksi, osien kuormituksia ei pidä siirtää käsin laskemalla suoraan pääkannattajille!

- b) Rakenneanalyysi tulee toistaa (iteratiivisuus) erilaisilla rakenneosien ja liitosten jäykkyyksillä, jotta saavutettaisiin optimaalinen tulos rakennusmateriaalien menekin suhteen. Analyysin toistaminen uusilla lähtöarvoilla on tarpeen niin pitkään, kunnes rakenneosien mitoituksessa päädytään rakenneosiin, joita käytettiin rakenneanalyysin oletusarvoina ja lähtötietoina.
- c) Rakenneanalyysissä pitää ottaa huomioon rakenneosien todelliset epäkeskeisyydet, jotka koskevat rakenneosan lujuuslaskennassa sovellettavia neutraaliakseleita ja vääntökeskiöitä (sijaitsevat mahdollisesti eri paikassa kuin painopisteakseli). Rakenteiden materiaali- tai asennustoleransseja ei tarvitse ottaa huomioon, paitsi sellaisissa poikkeustapauksissa, missä ne mittausten mukaan ylittävät ohjeiden raja-arvot.
- d) Suunnittelijalla on Suomen RakMk:n osan B1 /12/ mukaisesti vastuullaan tunnistaa rakenteiden, sekä niiden jokaisen rakenneosan ja yksityiskohdan määräävät kuormitusyhdistelmät (jotka voivat kussakin tapauksessa olla erilaisia). Lisäksi suunnittelijan tulee hakea kuhunkin rakenneosaan vaikuttavien kuormitus-komponenttien ääriarvot, ja tarkastaa osien mitoitus näiden ääriarvojen mukaisille kuormitusyhdistelmille.
- e) Kuormitukset tulee rakenneanalyysivaiheessa syöttää ilman osavarmuuskertoimia. Osavarmuuskertoimia sovelletaan vasta kuormituksia yhdisteltäessä. Yhdistely tehdään sovellettavan ohjeen mukaisesti, ja siinä otetaan huomioon riittävä määrä erilaisia peruskuormien yhdistelmiä sellaisista, jotka voivat vaikuttaa samanaikaisesti.

- f) Rakenteen analyysitulokset tulee varmistaa ja tarkastaa tekemällä yksinkertaistetuilla rakennemalleilla käsilaskelmia, joilla voidaan haarukoida ala- ja ylärajat tarkemman rakenneanalyysin tuloksille. Lisäksi pilari-palkki-rakenteiden liitosten jäykkyydet tulee tarkastaa, että ne ovat riittäviä, jos liitos on mallinnettu äärettömän jäykkänä.
- g) Vaativissa AA-kohteissa, mikäli käytössä oleva tietokoneohjelma mitoittaa rakenneosat (profiilit, poikkileikkaukset tms.), rakenneanalyysi ja osien mitoitus tulee varmuuden vuoksi toistaa kaikilla mahdollisilla riskianalyysin osoittamilla muunnoksilla rakenneosien reunaehdoissa osien kestävyyksien varmistamiseksi myös riskin toteutuessa (esimerkiksi, mitä tapahtuu, jos nivelliitos ei toimikaan nivelenä, tai jos jäykkänä suunniteltu liitos antaa periksi, tms.).

2) Rakenteiden ja niiden yksityiskohtien murto- ja käyttörajamitoitus

Suunnittelua koskevien perusohjeiden mukaisesti se pitää kussakin projektissa tehdä käyttäen yhtä ja samaa suunnitteluohjetta. Eri ohjeiden soveltaminen samassa projektissa on kielletty (mainittu mm. Eurokoodien esipuheessa). Mitoittaminen tapahtuu murtorajatila- ja käyttörajatilaehtoien mukaisesti sovellettavan suunnitteluohjeen antamalla kaavoilla tai raja-arvoilla. Mitoituslaskelmissa tulee käsitellä:

- a) rakenteen rakennustuotetehtaassa valmistettavat valmisosat ja niiden yksityiskohdat,
- b) valmisosien työmaalla tehtävät liitokset ottaen huomioon rakenneanalyysissä tehdyt oletukset liitosten jäykkyydestä tms.,
- c) työmaaliitosten komponentit ja niiden ruuvi- ja hitsausliitokset.

2.4.1 Rakenteiden murtorajatilamitoitus

Rakenteiden murtorajatilamitoitus tapahtuu vertaamalla materiaaliosavarmuusluvun avulla määritettyä kestävyyttä (merkitään R) kuormitusosavarmuuslukujen avulla määritettyyn ns. ”määräävään kuormitukseen” (merkitään E). Määräävä kuormitus on siten suunnittelutavoite. Kestävyyden R tulee kaikissa tilanteissa olla vähintään määräävän kuormituksen E suuruinen:

$$E \leq R, \quad \text{eli rakenteen hyväksikäyttöasteen } (= E / R) \text{ tulee olla } \leq 1,0.$$

Rakennuskohteen mitoituskäytännöistä pitää selvittää kuinka suureet R ja E on saatu, ja miten voidaan varmistua, että on löydetty kunkin rakenneosan määräävä kuormitus.

Määräävän kuormituksen E oikea määrittäminen kuuluu suunnittelijan tehtäviin. Se on koko suunnittelutehtävissä onnistumisen osalta kriittisellä polulla, koska liian alas asetettu (jos jokin kuorma unohtuu tai aliarvioidaan) suunnittelutavoite aiheuttaa automaattisesti rakenteita, joiden kestävyys on todennäköisesti liian pieni.

Tarkastelut suoritetaan ja laskelmien tulokset dokumentoidaan taulukon 1 mukaisesti:

Taulukko 1. Murtorajatilatarkistukset ja laskelmien dokumentointi.

	Toimenpiteet, tai dokumentointi
1	Ohjelmasta valitaan käyttöön haluttu suunnitteluohje murtorajatilamitoitusta varten. Suomessa sovellettavia ohjeita ovat RakMk:n osat tai vaihtoehtoisesti teräs- ja puurakenteiden Eurokoodit eri osineen ja kansallisine liitteineen.
2	Ohjelman kyseistä suunnittelutehtävää vastaavat mitoituskaavat pitää tarkastaa jollakin rakenneosalla vertaamalla niiden tuloksia käsin laskennan tulokseen (tämä tulee tehdä ohjelman käyttöönottovaiheessa!).
3	Suunnitteluohjeen mitoituskaavojen voimassaolon ehdot tulee tarkastaa tietokoneohjelman käyttöoppaasta tai koelaskennalla, missä lähtötiedot valitaan sallitun alueen ulkopuolella.
4	Ohjelman tulee tulostaa rakenneosien ja niiden yksityiskohtien kestävyys, ja verrata niitä määrävään kuormitukseen esimerkiksi tulostamalla hyväksikäyttöasteet.
5	Ohjelman pitää tulostaa käytetyn mitoituskaavan numeroviittaus käyttöönotetussa suunnitteluohjeessa tai sen osassa, sekä (miehellään valinnaisena optiona) kaava ja nimetä siinä esiintyvät muuttujat, koska tulostuksia lukevilla ei välttämättä ole ohjelmien käyttöoppaita tai referenssimanuaaleja.
6	Ohjelmasta tulee saada listaus hitseistä, joiden hyväksikäyttöaste on yli 50 %.
7	Ohjelmasta tulee tarkastusten helpottamiseksi saada listaus osista, jäykisteistä ja muista elementeistä, joiden hyväksikäyttöaste *) on tietyn erikseen valittavan raja-arvon (50 - 100 %) yläpuolella.
8	Ohjelman tulee dokumentoida valinnaisten mittojen laskettuja hyväksytyjä kestävyksiä vastaavat arvot piirustuksissa.
9	Mikäli ohjelmaan ei voi syöttää mitoituksessa sallittua rakenneosien mittavalikoimaa (esim. sallitut levypaksuudet), kaikki rakennelaskelmat ja mitoitus tulee tehdä, viimeistellä ja dokumentoida sen mukaisesti mitä mitta-arvoja on valittu.
10	Ohjelman tulee laatia selvitys rakenneosista, joiden mitoitus ei syystä tai toisesta onnistunut, tai missä laskettuihin kestävyksiin sisältyy mitä tahansa epävarmuuksia, tai missä etukäteen annettu mittavalikoima ei sisältänyt sopivia arvoja.

*) Kunkin rakenneosan ja yksityiskohdan hyväksikäyttöaste lasketaan kaavalla:

$$\text{Hyväksikäyttöaste [\%]} = 100 \cdot \frac{\text{rakenneosan määrävä kuormitus}}{\text{kestävyys}}. \quad (1)$$

Kaikkien kuormaa kantavien rakenteiden hyväksikäyttöasteiden tulee olla alle 100 % olivatpa kyseessä runkorakenteet tai sekundaarirakenteet.

2.4.2 Rakenteiden käyttörajatilamitoitus

Tietokoneella tehtäviin mitoituslaskelmiin on yleensä helppo sisällyttää erilaiset käyttörajatilatarkastelut yksinkertaisimmassa muodossaan:

- määritellään tietyt rakenteen kohdat (solmupisteinä tai muulla tavalla), missä pysty- tai sivusiirtymät eivät saa ylittää ennakkoon laskettuja mitoitusarvoja,

- määritellään rakenteen alin sallittu ominaisvärähtelytaajuus, tai epätoivottava resonoiva ominaistaajuusalue tms.
- määritellään rakenteisiin vaikuttavien dynaamisten kuormien vaikutukset sen osalta, onko niistä mahdollisesti seurauksena väsyttävä rasiustila, joka vaikuttaa heikentävästi materiaalin lujuuteen,

Yleisimmässä muodossaan käyttörajatilamitoitus on laajennettu aidoksi toiminnalliseksi suunnitteluksi, missä rakenteen osat optimoidaan ja mitoitetaan toiminnallisten ehtojen vaatimusten mukaisesti. Tällä hetkellä tällaisia ohjelmia on käytössä pääasiassa muissa kuin normaaleissa kuormitustapauksissa ja niiden varalta laadituissa rakenteellisissa sovellutuksissa (vrt. kaava 1).

Toiminnallista suunnittelua sovelletaan erityisesti suunnitteluohjeiden muokkaamiseen ja rakentamisvaatimusten määrittelemiseen erilaisissa onnettomuuskuormitustapauksissa. Toiminnallisen suunnittelun lähtökohtana on riskianalyysi, joka on osa riskinhallintaa. Suunnitteluvaatimukset valitaan ohjeista sen mukaisesti minkä suuruista riskiä voidaan kussakin tapauksessa pitää hyväksyttävänä. Normaaleja kuormitustapauksia koskevassa rakennesuunnittelussa kestävyuden suhteen hyväksyttävä riskitaso on sisällytetty suunnitteluohjeiden osavarmuuslukuihin.

3. YHTEENVETO

Rakennelaskelmat ja rakenneosien ja niiden yksityiskohtien mitoitus tulee dokumentoida siten, että dokumentaatiosta selviää lähtötiedot, kuormitukset, kuormitusten yhdistelyt per rakenne, sekä rakenteiden ja rakenneosien kestävyys ja hyväksikäyttöasteet.

Vaativissa rakenteissa on tärkeää selvittää ja dokumentoida rakenteiden sitkeyteen liittyvät ominaisuudet siltä varalta, että rakennuksessa esiintyisi onnettomuuskuormituksia tai jotain materiaali-, valmistus- tai suunnitteluvirheitä tai vikoja, jotka voivat herkistää jatkuvaan sortumiseen. Ennakoimattomien kuormitustilanteiden varalta tulee dokumentoida kunkin rakenteen tai rakenneosan ja liitoksen todennäköinen murtumistapa.

Dokumentaatioissa oleellisia ovat käytetyt kaavat ja niiden numerot ohjeissa sekä kaavoissa käytetyt muuttujat ja se miten kuormien lähtöarvoihin on päädytty. Kaavat tulee mielellään esittää kaikissa laskelmissa. Pelkästään numeroina esitetyt kaavat muotoon kirjoitettuja laskelmia ei voi pitää laskelmadokumentteina. Mahdollisista laskuvirheistä vastaa suunnittelija sopimuksensa puitteissa.

Tarkastelujen ja laskelmien tulostus pitää mieluiten tehdä graafisessa muodossa kaikkialla missä se on mahdollista.

KIRJALLISUUS

1. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Osa B7. Teräsrakenteet. Ympäristöministeriö. Ohjeet 1988.
2. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Osa B6. Teräsohutlevyrakenteet. Ohjeet 1989. Ympäristöministeriö.
3. SFS 2373. Hitsaus. Staattisesti kuormitettujen teräsrakenteiden hitsausliitosten mitoitus ja lujuuslaskenta. 38 s.
4. ENV 1993-1-1. Eurocode 3. Design of steel structures. Part 1-1: General rules and rules for building. 344 s.
5. EN 1993-1-8: Eurocode 3: Design of steel structures - Osa 1-8: Design of joints.
6. SFS 2373. Hitsaus. Staattisesti kuormitettujen teräsrakenteiden hitsausliitosten mitoitus ja lujuuslaskenta. 1980. 38 s.
7. Suomen rakennusmääräyskokoelma. Osa B4. Betonirakenteet. Ohjeet 2005. Ympäristöministeriö.
8. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Osa B10. Puurakenteet. Ohjeet 2001. Ympäristöministeriö.
9. RIL 120-1991. Puurakenteiden suunnitteluohjeet. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y.
10. ENV 1995-1-1, 1993, Eurocode 5 - Design of Timber Structures - Part 1-1: General Rules for Buildings. CEN Brussels. 110 s.
11. RIL 205-1997. Puurakenteiden suunnittelu - Euronormi. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y.
12. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Osa B1. Rakenteiden varmuus ja kuormitukset, määräykset. Ympäristöministeriö. Ohjeet 1998.
13. RIL 144-2002. Rakenteiden kuormitusohjeet. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry. Helsinki 2002, 205 s.
14. EN 1991-1-7: Eurocode 1 - Actions on structures. Part 1-7: General actions - Accidental actions. 66 s.
15. prEN 1991-1-6. Eurocode 1 - Actions on structures. Part 1-6: General actions - Actions during execution. 29 s.
16. EN 1991-1-7:2005. Eurocode 1 - Actions on structures. Part 1-7: General actions - Accidental actions.