

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutus

Markus Hakkarainen

YMPÄRISTÖTIETOISEN RAKENNESUUNNITTELUN OHJAUS

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2020



OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2020
Rakennustekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600

Tekijä
Markus Hakkarainen

Nimeke
Ympäristötietoisien rakennesuunnittelun ohjaus

Toimeksiantaja
Vahanen Suunnittelupalvelut Oy

Tiivistelmä

Opinnäytetyössä käsitellään ympäristötietoista rakennesuunnittelua ja siihen liittyviä asioita, kuten elinkaariarviointi, rakennusten hiilijalanjälki ja muuntojoustavuus. Työn tarkoituksena on johdatella yrityksen henkilöstöä elinkaariarviointiin ja rakennusten hiilijalanjäljen arviointiin, sekä koota tietoa ympäristötietoista rakennesuunnittelusta ja tuottaa esivalintataulukoita alustavan rakennesuunnittelun tueksi.

Opinnäytetyössä käydään läpi periaatteet elinkaariarviointiin ja rakennuksen hiilijalanjäljen arviointiin, sekä esitetään asuin- ja toimistorakennusten muuntojoustavuuteen liittyviä asioita. Asioita kuten runkojärjestelmä ja rungon muunneltavuus. Liitteeksi tuotetuissa esivalintataulukoissa esitetään yleisimmät asuin- ja toimistorakennusten kantavat rakenteet. Esivalintataulukoissa esitetään rakenteen kantokyky ja sen tuottama hiilijälki tuotevaiheen osalta. Osassa esivalintataulukoista on hyödynnetty valmiita kantokykykäyriä. Muut kantokykykäyrät on laskettu Eurokoodien ja kansallisten ohjeiden mukaisesti.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin johdatus rakennusten elinkaariarviointiin, tietoa ympäristötietoista suunnittelusta ja esivalintataulukot suunnittelutyön tueksi.

Kieli
suomi

Sivuja 40
Liitteet 13
Liitesivumäärä 53

Asiasanat

elinkaariarviointi, hiilijalanjälki, ympäristötietoinen suunnittelu, muuntojoustavuus



THESIS
April 2020
Degree Programme In Civil Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author
Markus Hakkarainen

Title
Guidance of Environmentally Conscious Structural Engineering

Commissioned by
Vahanen Suunnittelupalvelut Oy

Abstract

This thesis considers environmentally conscious structural engineering and related things such as life cycle assessment, carbon footprint for buildings and adaptability. The purpose of the thesis was to guide the company's personnel to the life cycle assessment and assessing the carbon footprint of buildings, as well as to gather information on environmentally conscious structural engineering and to produce preselection diagrams to support preliminary structural engineering.

The principles of life cycle assessment and carbon footprint assessment for a building are reviewed in this thesis. Matters related to the adaptability of residential and office buildings, such as framed system and frame modifiability are considered as well. Preselection diagrams, which are appended, present the most common load-bearing structures for residential and office buildings. The diagrams present the capacity of the structure and its carbon footprint for the product stage. In some of the preselection diagrams ready-made capacity curves have been utilized. The rest of the preselection diagrams have been calculated according to Eurocodes and national guidelines.

The result of the thesis was a guidance to the life cycle assessment of buildings. In addition, information on environmentally conscious structural engineering and preselection diagrams to support engineering work were also obtained as the result of the thesis.

Language

Finnish

Pages 40
Appendices 13
Pages of Appendices 53

Keywords

life cycle assessment, carbon footprint, environmentally conscious structural engineering, adaptability

Sisältö

Lyhenteet	5
1 Johdanto.....	6
2 Elinkaariarviointi, LCA	6
2.1 Rakennuksen elinkaariarvioinnin perusteet	6
2.2 Elinkaariarvioinnin vaiheet	10
2.3 Elinkaariarvioinnin yleiset indikaattorit	10
2.4 Ympäristöseloste, EPD	12
3 Rakennuksen hiilijälki	14
3.1 Hiilijalanjälki	14
3.2 Hiilikädenjälki	17
3.2.1 Hiilivarastot.....	18
3.2.2 Hiilinielut.....	18
4 Ympäristötietoinen suunnittelu	19
4.1 Yleistä	19
4.2 Muuntojoustavuus asuin- ja toimistorakennuksissa	21
4.2.1 Runkojärjestelmät.....	23
4.2.2 Rungon muunneltavuus	27
4.2.3 Kerroskorkeudet ja moduulimitat	28
4.2.4 Talotekniikka	30
5 Esivalintataulukot hiilijäljen ja rakenteiden optimointiin	31
5.1 Yleistä	31
5.2 Välipohjarakenteet	33
5.3 Seinärakenteet.....	34
5.4 Pilarirakenteet.....	34
5.5 Palkkirakenteet	35
6 Yhteenvedo ja pohdinta.....	36
Lähdeluettelo	38

Liitteet

Liite 1	Esivalintataulukot, Ontelolaatat
Liite 2	Esivalintataulukot, Teräsbetoni-laatat
Liite 3	Esivalintataulukko, CLT-laattaelementit
Liite 4	Esivalintataulukko, LVL-ripalaatat
Liite 5	Esivalintataulukot, Raudoittamattomat betoniseinät
Liite 6	Esivalintataulukot, Teräsbetoniseinät
Liite 7	Esivalintataulukot, CLT-seinäelementit
Liite 8	Esivalintataulukot, Teräsbetonipilarit
Liite 9	Esivalintataulukot, Liimapuupilarit
Liite 10	Esivalintataulukot, Neliö rakenneputki pilarit
Liite 11	Esivalintataulukot, Betoni-teräs-liittopilarit
Liite 12	Esivalintataulukot, Teräsbetoniset suorakaidepalkit
Liite 13	Esivalintataulukko, LVL-palkit

Lyhenteet

AP	Acidification Potential, happamoitumispotentiaali
CF₄	Tetrafluorimetaani
CFC	Kloorifluorihilivetyjä
CH₄	Metaani
CLT	Cross Laminated Timber, ristiinliimattu massiivipuu
CO₂	Hiilidioksidi
EP	Eutrophication Potential, rehevöitymispotentiaali
EPD	Environmental Product Declaration, ympäristöseloste
GWP	Global Warming Potential, ilmaston lämpenemispotentiaali
HFC	Fluorihilivedyt
LCA	Life Cycle Assessment, elinkaariarviointi
LVL	Laminated Vaneer Lumber, viilupuu
LVIS	Lämpö, vesi, ilmanvaihto, sähkö
N₂O	Dityppioksidi
ODP	Ozone Depletion Potential, otsonikatopotentiaali
PEtot	Primary Energy Total, primäärienergian kokonaiskulutus
PFC	Perfluorihilivedyt
POCP	Photochemical Oxidant Creation Potential, valokemiallinen otsonin muodostuskyky
RST-EPD	Rakennustietosäätöön ylläpitämä ympäristöselosteiden tietokanta.
SF₆	Rikkiheksafluoridi
U-arvo	Rakenteen lämmönläpäisykerroin
UV-A	Luokan A ultraviolettisäteily
UV-B	Luokan B ultraviolettisäteily
VTT	Teknologian tutkimuskeskus
12M	Moduulijärjestelmä, jossa M on kantamoduuli 100 mm ja kertomoduuli 12 on kantamoduulin kerrannainen.

1 Johdanto

Suomessa on käynnissä maankäyttö- ja rakennuslain kokonaisuudistus, ja elinkaariarviointi on keskeisesti mukana tässä. Suomen tavoitteena on hiilineutraalius vuoteen 2035 mennessä, ja tämä vaikuttaa suurelta osin myös rakennusalaan. Vähähiilisyden seuranta ja arviointi tullaan ensimmäisenä ympäristövaikutuksena lisäämään lakisääteiseksi ympäristöministeriön julkaiseman vähähiilisen rakentamisen tiekartan mukaisesti vuoteen 2025 mennessä. Tulevaisuudessa myös muita ympäristövaikutuksia tullaan sisällyttämään rakennusten elinkaariarviointiin. [1, 9-11.]

Aiheena ympäristötietoinen rakennesuunnittelu on hyvin laaja, joten työssä aihealue on rajattu asuin- ja toimistorakennuksiin. Opinnäytetyön tavoitteena on johdatella rakennusten elinkaariarviointiin ja hiilijalanjäljen arviointiin sekä koota tietoa ja kertoa huomioon otettavia seikkoja ympäristötietoiseen rakennesuunnitteluun. Ympäristötietoisen rakennesuunnittelun pääosa-alueina käsitellään asuin- ja toimistorakennuksien muuntojoustavuutta ja käyttöikä. Työn osana tuotettiin tavallisimpien asuin- ja toimistorakennuksien kantavien rakenteiden esivalintataulukkoita. Esivalintataulukoiden tavoitteena on helpottaa vähähiilisyden seurannan, arvioinnin ja vertailun mukaan ottamista, jo rakennushankkeen luonnossuunnitteluvaiheessa. Opinnäytetyö toteutettiin Vahanen Suunnittelupalvelut Oy:n toimeksiantona.

2 Elinkaariarviointi, LCA

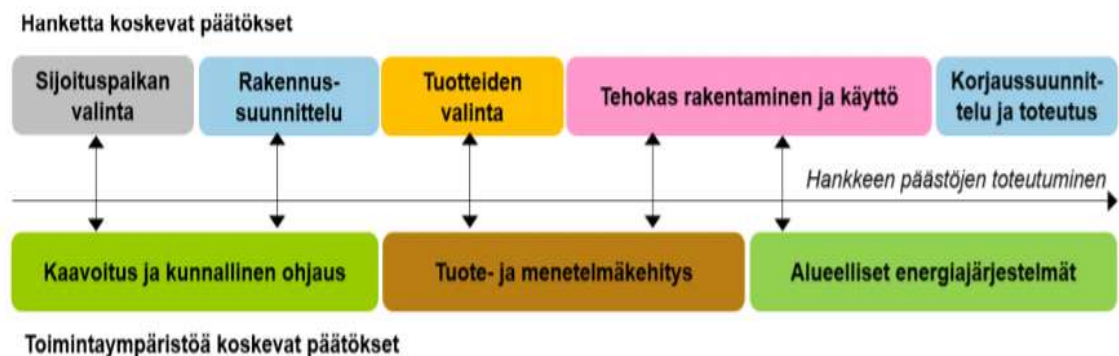
2.1 Rakennuksen elinkaariarvioinnin perusteet

Elinkaariarviointi on tuotteiden ja palveluiden luonnonvarojen kulutuksen ja ympäristövaikutuksen arviointiin kehitetty menetelmä. Rakennusalalla elinkaariarviointia käytetään arvioitaessa rakennuksen ekologista kestävyyttä. Elinkaariarvioinnissa käsitellään koko rakennuksen elinkaari, ja kiinnitetään huomiota sen

aikana syntyviin ympäristövaikutuksiin. Ympäristöarviointia toteuttaville toimijoille elinkaariarviointi antaa perustiedot rakennuksen elinkaaren ympäristövaikutuksista sekä muuttujista, jotka vaikuttavat luonnonvarojen kulutukseen. Elinkaariarvioinnin avulla voidaan arvioida rakennuksen elinkaaren vaiheiden ja rakennusosien merkitystä ympäristöön, jo rakennuksen suunnittelun aikana. [2, 4.]

Elinkaariarviointia voidaan toteuttaa myös yksinkertaistetusti. Yksinkertaistetussa elinkaariarvioinnissa tarkastellaan tiettyä päästöä tai rajattua prosessin osaa ympäristöindikaattoreiden avulla [3]. Tarkasteltava päästö voi olla esimerkiksi kasvihuonekaasujen päästö, jota mitataan ilmaston lämpenemispotentiaali indikaattorilla (GWP).

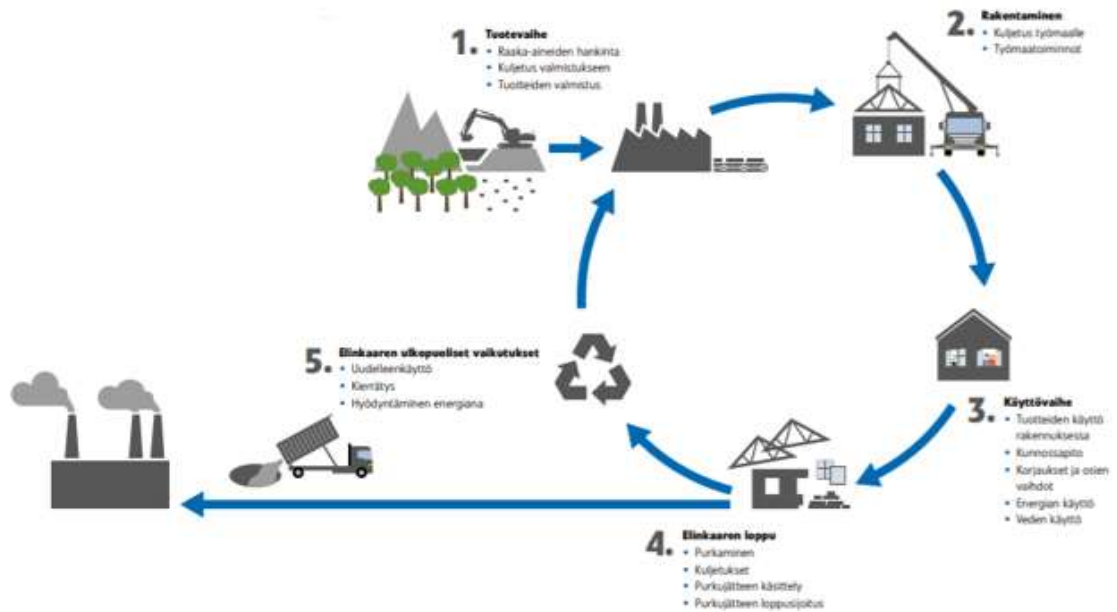
Merkittävin vaikutus rakennuksen ympäristövaikutuksiin tehdään hanke- ja suunnitteluvaiheen aikana. Hankkeen ympäristövaikutuksiin vaikuttaa hanketta koskevien päätösten lisäksi toimintaympäristöä koskevat päätökset, kuten kaavoitus ja kunnallinen ohjaus (kuva 1). Nämä ohjaavat hankkeen päätöksentekoa. On tärkeää asettaa hankkeen ympäristövaikutus tavoitteet jo varhaisessa vaiheessa, jotta tavoitteet ohjaavat suunnittelua ja päätöksentekoa. [4, 14,72.]



Kuva 1. Hankkeen päästöihin vaikuttavat päätökset [4, 14].

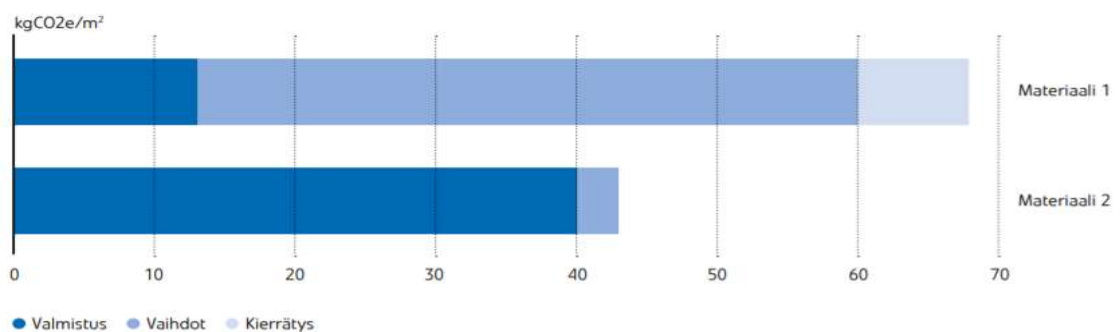
Elinkaariarvioinnissa rakennuksen elinkaari erotellaan viiteen eri vaiheeseen, jotka ovat tuotevaihe, rakennusvaihe, käyttövaihe, elinkaaren loppuvaihe ja elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset (kuva 2). Näistä syntyvät rakennuksen elinkaaren ympäristövaikutukset. [5, 19.] Tuote- ja rakennusvaiheen ympäristövaikutukset ovat useasti helppo arvioida, koska nämä toteutuvat lähitulevaisuudessa. Vastaavasti rakennuksen käyttövaihe, elinkaaren loppuvaihe ja elinkaaren

ulkopuoliset vaikutukset tapahtuvat tulevaisuudessa, niin arviointi perustuu oletuksiin. Oletuksia joudutaan tekemään rakennuksen käytöstä, korjauksista, ylläpidosta, purkamisesta ja kierrättämisestä. [2, 5.]



Kuva 2. Rakennuksen elinkaari [2, 6].

Elinkaariarvioinnin ajanjakso valitaan sellaiselle ajalle, jolla pystytään riittävällä tarkkuudella arvioimaan käytön ja ylläpidon tehtäviä. Suositeltavaa on valita elinkaariarvioinnin tarkasteluajanjaksoksi rakennukselta vaadittava käyttöikä. Rakennusten vertailun mahdollistamiseksi tulokset jaetaan tarkasteluajanjaksolle, jolloin rakennusten käyttöikäen erot eivät haittaa vertailua. Mitä pitkäikäisemmäksi todellista käyttöikää saadaan vietyä, sitä pienempi päästöjen osuus on tarkasteluajanjakson vuotta kohden. Pitkäikäisten materiaalien hyöty rakennuksen elinkaaren päästövaikutuksiin nousee esiin pidemmällä tarkasteluajanjaksolla, kuten kuvasta 3 voidaan huomata. [2, 12.]



Kuva 3. Materiaalin käyttöiän merkitys elinkaaren hiilijalanjälkeen [2, 12].

Elinkaariarviointiin on laadittu ISO 14040 -sarjan standardit. [3]. Rakennuksien ja rakennustuotteiden osalta elinkaariarviointi on vielä erikseen standardisoitu eurooppalaisissa EN-standardeissa [2, 18]. Nämä standardit ovat:

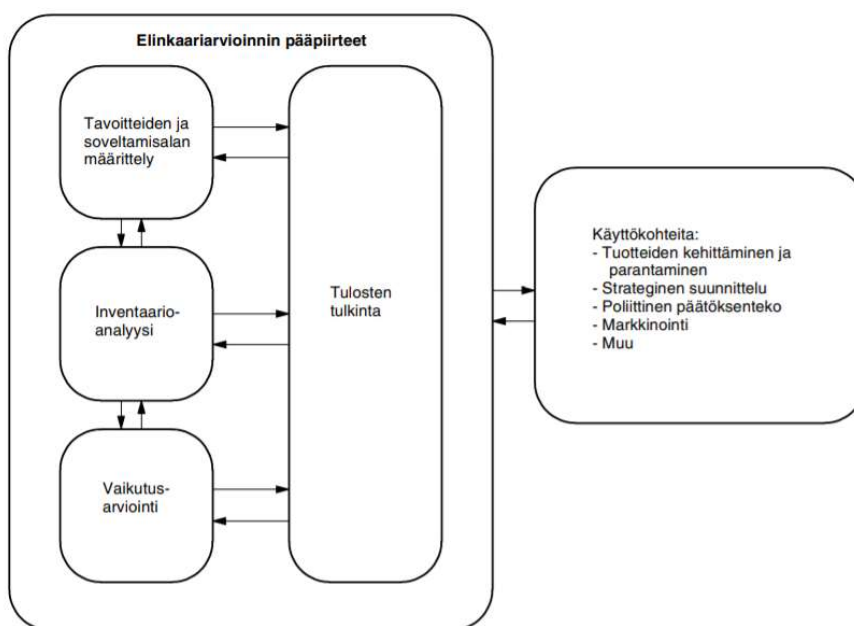
- EN ISO 14040 Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework.
- EN ISO 14044 Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines.
- EN 15643-2 Sustainability of construction works. Assessments of buildings. Part 2. Framework for the assessment of environmental performance.
- EN 15978 Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method.
- EN 15804 Sustainability of construction works. Environmental product declarations. Core rules for the product category of construction products. [2, 18.]

Standardeissa EN ISO 14040 ja EN ISO 14044 kuvataan elinkaariarvioinnin periaatteet, vaatimukset ja menetelmät. Standardissa EN 15643-2 esitetään arviointi ja vaatimukset rakennuksen ympäristövaikutuksista. Standardissa 15804 esitetään ympäristöselosteiden (EPD) sisältö, periaatteet ja rakenne, jotta selosteet ovat yhteneviä laadinnan ja esityksen osalta. Standardissa EN 15978 esitetään laskentamenetelmä rakennuksien elinkaariarviointiin. [2, 18.]

Elinkaariarvioinnin yhdenmukaistamiseksi ja työn helpottamiseksi kiinteistö- ja rakennusalan yhdistys Green Building Council Finland on julkaissut suomeksi laaditun standardeihin pohjautuvan menetelmän, joka kattaa elinkaarikustannusten sekä elinkaaren hiilijalanjäljen laskentaohjeen. Rakennusten elinkaarimittarit 2013. [4, 20.]

2.2 Elinkaariarvioinnin vaiheet

Elinkaariarvioinnissa käytetään iteratiivista lähestymistapaa, jossa vaiheiden välinen suhde vaikuttaa tulosten kattavuuteen ja johdonmukaisuuteen. Elinkaariarvioinnissa vaiheita on neljä: tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, inventaarioanalyysi, vaikutusarviointi ja tulosten tulkinta. [6, 22.] Kuvassa 4 on esitetty vaiheiden välistä suhdetta.



Kuva 4. Elinkaariarvioinnin vaiheet ja niiden väliset suhteet [6, 24].

2.3 Elinkaariarvioinnin yleiset indikaattorit

Elinkaariarvioinnissa indikaattoreita käytetään laskettaessa luokkakohtaisia ympäristövaikutuksia ja luonnonvarojen kulutuksia. Luokkien valinnassa tulee kiinnittää huomiota siihen, että ne kuvastavat ja suuntautuvat kolmeen turvattuun pääalueeseen: ihmisen terveys, luonnonympäristö ja luonnonvarat. Luokkien tuloksia voidaan yhdistää, mutta tärkeää on huomioida tulosten normalisointi ja painotus ennen tulosten yhteenlaskua. [2, 17.]

Itävallan ilmastoaktiivisen ympäristöluokitusjärjestelmän rakennusmateriaalien ympäristövaikutusten kriteerinä käytetään kriteeriä Ökoindex 3 (OI3). Menetelmä ei ole Itävallassa pakollinen, mutta sen avulla voidaan saada taloudellista tukea

rakennushankkeelle. Ökoindex 3 -menetelmässä arvioidaan materiaalien ekologista laatua yhdistelemällä painotetusti eri ympäristöindikaattoreita. Painotetut ympäristöindikaattorit ovat ilmaston lämpenemispotentiaali, happamuuspotentiaali ja uusiutumattoman primäärienergian tarve. [4, 32.]

Elinkaariarviointi pitää sisällään useita erilaisia ympäristövaikutuksia ja näiden ympäristövaikutuksien laskentaan on kehitetty erilaisia indikaattoreita. Yleisempiä indikaattoreita ovat ilmastonlämpenemispotentiaali, otsonikatopotentiaali, valokemiallinen otsoninmuodostuskyky, happamoitumispotentiaali, rehevöitymispotentiaali ja primäärienergian kokonaiskulutus. [2, 7.]

Ilmaston lämpenemispotentiaali (GWP: Global Warming Potential) on niin sanottu ”hiilijalanjälki”, jolla mitataan ilmastonmuutokseen johtavia kasvihuonekaasujen päästöjä. Yleensä käytetyt tarkasteluajanjaksot ovat 20- (GWP20) ja 100-vuotta (GWP100). Ilmaston lämpenemispotentiaalın yksikkö on hiilidioksidiekvivalentti (CO₂e). [2, 7.]

Otsonikatopotentiaali (ODP: Ozone Depletion Potential) indikaattorilla mitataan vahingoittavia auringon UV-A ja UV-B-säteilyä, kun stratosfäärin otsonikerros on heikentynyt. Otsonikatopotentiaalın yksikkö on trikloorifluorimetaaniekvivalentti. [2, 7.]

Valokemiallisella otsoninmuodostuskyvyllä (POCP: Photochemical Oxidant Creation Potential) mitataan hengityselimistöä vahingoittavaa ultraviolettisäteilyn muodostamaa otsonia alailmakehässä. Valokemiallisen otsonimuodostuskyvyn yksikkö on etyleeniekvivalentti. [2, 7.]

Happamoitumispotentiaalilla (AP: Acidification Potential) mitataan ympäristön happamoitumispäästöjä. Happamoitumispäästöt voi johtaa happosateisiin, kun happamoivat aineet reagoivat veden kanssa. Happamoitumispotentiaalın yksikkö on rikkioksidiekvivalentti. [2, 7.]

Rehevöitymispotentiaalilla (EP: Eutrophication Potential) mitataan ympäristön rehevöitymispäästöjä. Rehevöitymispäästöt aiheuttavat herkissä ekosysteemeissä

liikatarjontaa ja ei toivottua rehevöitymistä. Rehevöitymispotentiaalin yksikkö on fosfaattiekvivalentti. [2, 7.]

Primäärienergian kokonaiskulutus (PEtot: Primary Energy Total) mittaa primäärienergian käyttöä uusiutuvista ja uusiutumattomista energianlähteistä. Primäärienergian kokonaiskulutuksen yksikkö on MJ tai kWh. [2, 7.]

Ilmaston lämpenemispotentiaalissa on hiilidioksidin (CO₂) lisäksi muitakin kasvihuonekaasuja, kuten metaani (CH₄), tetrafluorimetaani (CF₄), dityppioksidi (N₂O), kloorifluorihilivetyjä (CFC), fluorihilivetyjä (HFC), perfluorihilivetyjä (PFC), ja rikkiheksafluoridia (SF₆). Kasvihuonekaasut poikkeavat toisistaan säteilytehokkuudella ja hajoamisajalla. Ilmaston lämpenemispotentiaali (GWP) on kehitetty eri kasvihuonekaasujen aiheuttaman ilmastonlämpenemisen vertailuun. GWP:ssä hiilidioksidi on vertailukaasu, jolla mitataan kuinka paljon säteilytehokkaampi yksi tonni muuta kaasua on verrattuna yhteen tonniin hiilidioksidia tarkasteltavan ajanjakson aikana. Koska kaikkia kaasuja verrataan hiilidioksiidiin, vaikuttaa kaasun GWP-luvun suuruuteen sen hajoamisaika ja tarkasteluajanjakso. Hiilidioksidia lyhyemmän hajoamisajan kaasujen GWP-luvut ovat suurempia lyhyemmällä tarkasteluajanjaksolla, kun taas pitemmän hajoamisajan kaasut saavat pienempiä arvoja lyhyemmällä tarkasteluajanjaksolla suhteessa pidempiin tarkasteluajanjaksoihin. Esimerkiksi metaanin hajoamisaika on lyhyt, joten 100 vuoden GWP on 28-36 ja 20 vuoden GWP on 84-87. Sen sijaan tetrafluorimetaanin hajoamisaika on pitkä, joten 100 vuoden GWP on 6630-7350 ja 20 vuoden GWP on 4880-4950. [7.]

2.4 Ympäristöseloste, EPD

Ympäristöseloste on rakennusmateriaalin, -tuotteen tai tuoteryhmän elinkaaren vaiheiden aikaisista ympäristövaikutuksista kertova seloste. Rakennustuotteiden ympäristöselosteet on standardisoitu EN 15804 -standardin mukaisesti. Ympäristöselosteet ovat kolmannen osapuolen varmentamia, joiden tulee olla standardien EN 14025 ja ISO 21930 mukaisesti hyväksytyjä. Edellä mainittujen standardien mukaisesti tuotettujen ympäristöselosteiden tiedot ovat luotettavia,

yhdenmukaisia, vertailukelpoisia, viimeisimpien standardien mukaisia ja helposti käytettäviä. Ympäristöseloste on voimassa viisi vuotta selosteen antopäivästä, jonka jälkeen sen voi uusia. [8, 4-12,46.]

Ympäristöselosteessa esitetyt elinkaaren vaiheiden ympäristövaikutukset on esitetty ilmoitettua yksikköä kohden. Ilmoitettu yksikkö voi olla muun muassa yhtä kuutiota (m³) tai yhtä tonnia (t) kyseistä tuotetta. Ympäristöselosteet voivat olla laajuudeltaan erilaisia ja kattaa vain osan elinkaaren vaiheista. Standardin EN 15804 mukaiset ympäristöselosteiden laajuudet ovat:

- kehdosta tehtaan portille, sisältäen vaiheet C1-4 ja D
- kehdosta tehtaan portille, sisältäen vaiheet C1-4 ja D, sekä option
- kehdosta hautaan
- kehdosta tehtaan portille
- kehdosta tehtaan portille optiolla. [8, 12-13.]

Kehdosta tehtaan portille, sisältäen vaiheet C1-4 ja D-seloste sisältää pakolliset elinkaaren vaiheet A1-3 (tuotevaihe), C1-4 (elinkaaren loppu) ja D (lisätiedot) [8, 12-13].

Kehdosta tehtaan portille, sisältäen vaiheet C1-4 ja D, sekä option -seloste sisältää vaiheet A1-3 (tuotevaihe), C1-4 (elinkaaren loppu) ja D (lisätiedot), sekä option sisällyttää selosteeseen elinkaaren vaiheita A4-5 (rakentaminen), B1-7 (käytövaihe) [8, 12-13].

Kehdosta hautaan -seloste on niin sanottu täydellinen ympäristöseloste. Seloste sisältää koko elinkaaren vaiheet A-D. [8, 12-13.]

Kehdosta tehtaan portille -seloste sisältää vain vaiheet A1-3 (tuotevaihe). Tämän laajuinen ympäristöseloste on sallittu vain tuotteille ja materiaaleille, jotka täyttävät seuraavat ehdot. Tuote tai materiaali on integroitu toisiin tuotteisiin tai materiaaleihin siten, ettei sitä voida erottaa elinkaaren lopussa. Tuotetta tai materiaalia ei voida tunnistaa fysikaalisen tai kemiallisen muodonmuutoksen johdosta. Tuote tai materiaali ei sisällä biogeenistä hiiltä. [8, 12-13.]

Kehdosta tehtaan portille optiolla -seloste sisältää vain vaiheet A1-3 (tuotevaihe), sekä option sisällyttää selosteeseen elinkaaren vaiheita A4-5 (rakentaminen). Tämän laajuisessa selosteessa tuotteen tai materiaalin ehdot ovat samat, kuin kehdosta tehtaan portille -selosteessa esitetyt. [8, 12-13.]

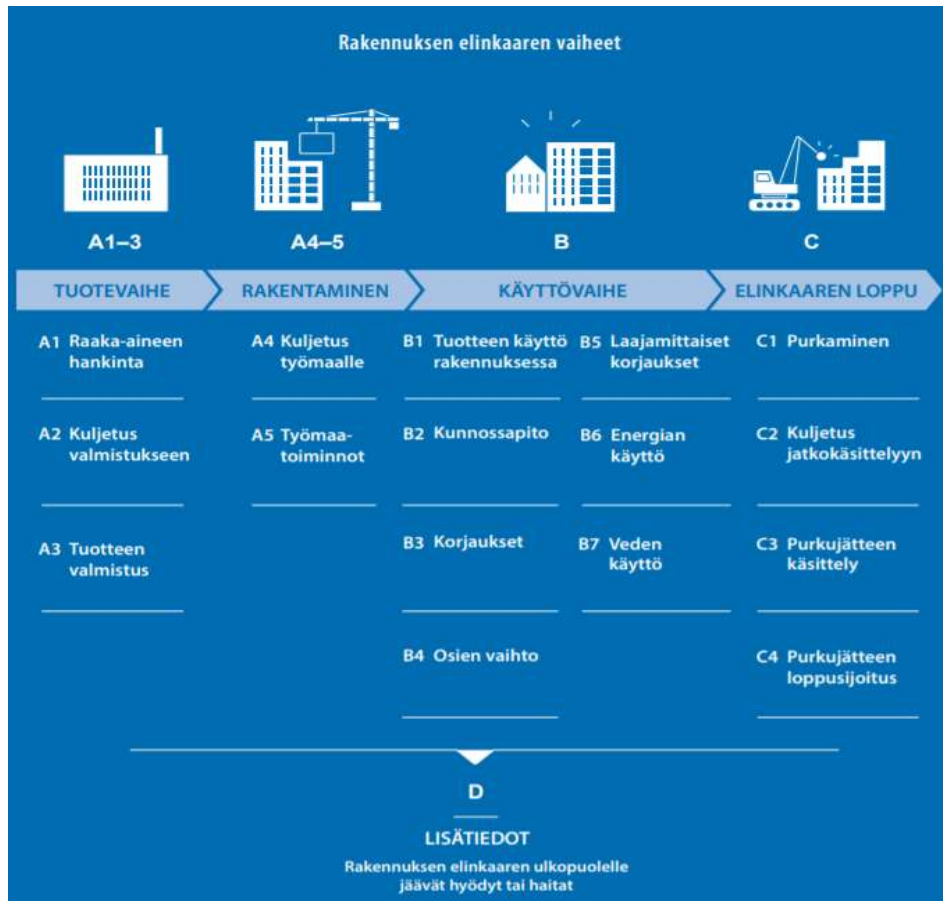
Elinkaariarvioinnissa tulisi pyrkiä ensisijaisesti hyödyntämään paikallisia ja tuotekohtaisia ympäristöselosteita. Jos paikallisia tai tuotekohtaisia ympäristöselosteita ei ole saatavilla, tulisi käyttää lähimmän vastaavan tuotteen selosteita. Täydellisen ympäristöselosteen avulla päästään käsiksi tuotteen tai materiaalin aiheuttamaan ympäristövaikutukseen koko elinkaaren ajalta. Tuotteiden ja materiaalien ympäristöselosteita vertaamalla voidaan arvioida ympäristöä vähiten kuormittavia tekijöitä.

3 Rakennuksen hiilijälki

3.1 Hiilijalanjälki

Hiilijalanjälki on yksi elinkaariarvioinnissa käytetyistä indikaattoreista, jolla mitataan ja arvioidaan rakennuksen elinkaaren aikana tuottamia kasvihuonekaasu päästöjä. Yhdellä luvulla ilmaistava hiilijalanjälki kertoo kasvihuonekaasu päästöjen vaikutuksen ilmastonmuutokseen. [3.]

Suomen tavoitteena on lisätä hiilijalanjäljen arviointi ja rakennustyyppikohtaiset päästöraja-arvot rakennusmääräyksiin 2020-luvun puoleen väliin mentäessä. Ympäristöministeriön vuonna 2017 julkaiseman vähähiilisen rakentamisen tiekartan mukaisesti. Ympäristöministeriö on laatinut Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä -ohjeen, joka pohjautuu Euroopan komission Level(s)-menetelmään. Arviointimenetelmässä huomioidaan kaikki rakennuksen elinkaaren vaiheet, tuotteiden valmistuksesta, rakennuksen purkuun ja kierrätykseen asti. Rakennuksen elinkaaren vaiheet on määritelty standardissa EN 15643-2 ja esitetty kuvassa 5. [1, 11-12.]



Kuva 5. Rakennuksen elinkaaren vaiheet [1, 14].

Suomessa rakennukset tuottavat 30 % kasvihuonekaasupäästöistä ja kuluttavat 32 % energiasta [9, 6]. Rakennuksen hiilijalanjälki syntyy tuotevaiheen (A1-3) raaka-aineiden hankinnasta, kuljetuksista ja valmistuksesta, rakentamisvaiheen (A4-5) kuljetuksista ja työmaatoiminnoista, käyttövaiheen (B1-7) käytöstä, kunnossapidosta, korjauksista, vaihdoista, energian ja vedenkäytöstä, sekä elinkaaren loppuvaiheen (C1-4) purkamisesta, kuljetuksista, jätteenkäsittelystä ja -loppusijoituksesta. Rakennuksen käyttöiän energiankulutus tuottaa suurimman osana tämänhetkisestä hiilijalanjäljestä. Rakennuksen käyttöiän energian osuus hiilijalanjäljestä laskee, kun siirrytään energiatehokkaampiin ratkaisuihin, kuten lämmöntalteenoton hyötysuhteen, rakennuksen U-arvon ja ilmatiiveyden parantamiseen, sekä uusiutuvan energian käyttöön. Parannetun energiatehokkuuden myötä materiaalien ja talotekniikan tarve lisääntyy, jolloin materiaaleista syntyvät päästöt kohoavat. [4, 11-13.]

Rakennuksen tuottamiin kasvihuonekaasuihin voidaan vaikuttaa huolellisella suunnittelulla, jo hankkeen aikaisessa vaiheessa, johon vähähiilisuuden

arviointimenetelmällä pyritään. Vähähiilisyys arviointi olisi hyvä panna toimeen, jo rakennussuunnitteluvaiheen aikana. Tässä vaiheessa on jo tarpeeksi tietoa materiaaleista ja rakennuksen energiantarpeesta. Arviointimenetelmä soveltuu käytettäväksi kaikenlaisille rakennuksille niin uudis-, kuin korjausrakennus hankkeissa. [1, 11-12.] Rakennussuunnitteluvaiheessa tehtävässä arviointimenetelmässä huomioitavaa kuitenkin on, että osa rakennuksen elinkaaren vaiheista perustuu todentamattomaan tietoon.

Arvioinnin voi toteuttaa yksinkertaistetulla tai tarkennetulla menetelmällä. Yksinkertaistetussa menetelmässä hiilijalanjälki lasketaan vaiheista A1-5, B3-4, B6 ja C. Vaihe D huomioidaan yksinkertaistetussa menetelmässä vain, jos materiaalien kierrätyksen tai uudelleenkäytön päästöhyödyt/-haitat on huomioitu laskennassa. Yksinkertaistetussa menetelmässä ei tarvitse tehdä tietojenlaadun arviointia, jos käyttää menetelmäohjeessa esitettyjä taulukkoarvoja. Pinta-alaan ja rakennustyyppiin perustuvia taulukkoarvoja voidaan käyttää moduuleissa A4-5, B3-4, C ja D. Tarkennetussa menetelmässä laskentaan kaikki rakennuksen elinkaaren moduulit A-D ja lisäksi tehdään tietojen laadun arviointi. [1, 39,51.]

Arviointimenetelmässä annetaan suoritustapaohjeet ja menetelmät rakennuksen vähähiilisyys laskentaan. Menetelmäohjeen lisäksi laskentaan tarvitaan rakennusprosessien ja -tuotteiden päästötiedot, sekä laskentaan soveltuva työkalu. Ennen kuin Suomen rakennusprosessien ja -tuotteiden päästötietokanta on valmis, voidaan päästötiedoissa ja skenaarioissa hyödyntää yleisiä elinkaariarviointin ja rakennustuotteiden ympäristöselosteiden tietokantoja. [1, 12-13.] Yleiset elinkaariarviointin tietokannat kuten Ecoinvent sisältää muidenkin toimialojen tietoja, jolloin rakennustuotteiden tietoja on rajallisesti ja eri-ikäisenä. Rakennustuotteiden ympäristöselosteiden tietokannat, kuten RST-EPD ja EPD Norge sisältävät hyvin ajantasaista tietoa. [4, 57.] Laskentatyökaluina voidaan käyttää ympäristöministeriön kehittämää rakennuksen hiilijalanjäljen arviointityökalua tai muuta EN 15978 -standardia ja Suomen kansallisia ohjeita noudattavaa työkalua, kuten One Click LCA -ohjelmistoa.

Ympäristöministeriön julkaisemassa TALO-hankkeessa päästöraja-arvojen rinnalle on tehty selvitystä asuinkerrostalojen taloudellisista ohjauskeinoista.

Taloudellisilla ohjauskeinoilla kannustetaan erittäin vähähiilisten rakennusten toteutukseen. TALO-hankkeessa arvioitiin kolmea uudisrakentamisen ja yhtä korjausrakentamisen taloudellista ohjauskeinoa, jotka olivat:

- valtiontuki
- vapautuminen kiinteistöverosta viideksi vuodeksi
- lisärakennusoikeuden myöntäminen
- avustus vähähiilisiin korjauksiin. [9, 9-12,68.]

Erittäin vähähiilisten rakennusten pilottihankkeilla on tarkoitus lisätä tietotaitoa ja kokemusta tulevaisuuden teknologiasta ja rakentamistavoista, sekä niitä voidaan hyödyntää päästöraja-arvo-ohjauksen kehittämisessä. TALO-hankkeessa uuden erittäin vähähiilisen asuinkerrostalon raja-arvoina on käytetty:

- 10 kgCO₂e/m² vuosi, 50 vuoden suunnitellulla käyttöiällä
- 5,8 kgCO₂e/m² vuosi, 100 vuoden suunnitellulla käyttöiällä [9, 47-49.]

TALO-hankkeen tutkimusryhmän arvioiden perusteella halukkaille kunnille suositellaan ohjauskeinoiksi uudisrakentamiseen valtiontukea ja lisärakennusoikeuden myöntämistä, ja korjausrakentamiseen avustusta vähähiilille korjauksille. Tutkimusryhmä piti näitä keinoja pitkäkestoisesti ja laajamittaisesti päästöjä vähentävinä, sekä kustannustehokkaina. Toimivien taloudellisten ohjauskeinojen kehittäminen, kuitenkin vielä vaatii huolellista suunnittelua, arviointia, seurantaa, uusia tutkimuksia ja yhteistyötä toimialan eri toimijoiden kanssa. [9, 70-71.]

3.2 Hiilikädenjälki

Hiilikädenjäljellä viitataan rakennuksen elinkaaren aikana syntyviin positiivisiin ilmastovaikutuksiin ja vaikutuksiin mitkä syntyvät rakennushankkeen toteutuksesta. Rakennuksen tuottamia ilmastohyötyjä ovat uudelleenkäytettävien ja kierrätettävien materiaalien käyttö, uusiutuvan energiantuotto rakennuksessa tai rakennustontilla, materiaalien hiilivarastot ja hiilinielut. [1, 30.]

Hiilikädenjälki ilmoitetaan erillisenä lisätietona, eikä sitä vähennetä hiilijalanjäljestä. Laskettaessa rakennuksen elinkaaren aikana tuottamaa hiilikädenjälkeä

summataan yhteen eloperäiset hiilivarastot ja hiilinielut vaiheiden A-C osalta. Materiaalien hyödyntäminen elinkaaren ulkopuolella (vaihe D) huomioidaan vain, jos materiaalien kierrätyksen tai uudelleenkäytön päästöhyödyt/-haitat on huomioitu laskennassa. [1, 34.]

3.2.1 Hiilivarastot

Hiilivarastona voidaan pitää materiaalia, joka on tuotettu kestävästi ja sitonut itseensä hiilidioksidia ilmakehästä ennen sen käyttöä rakennuksessa [1, 31]. Hiilivarastot ovat väliaikaisia ei-fossiilisen hiilen varastoja. Hiili vapautuu materiaalista hiilidioksidina ilmakehään sen käyttönsä lopussa, jossa se hyödynnetään muun muassa energian tuotannossa polttamalla. [11, 40.] Hiilivaraston käyttöikä saadaan pidennettyä materiaalien prosessoimattomalla uusiokäytöllä.

Rakennuksen hiilivarastoja arvioitaessa lasketaan vain puurakennustuotteet ja -osat. Laskennassa saa huomioida vain ne tuotteet ja osat, jotka on huomioitu myös rakennuksen hiilijalanjäljen arvioinnissa. Tuotteiden ja osien hiilivarasto huomioidaan vain yhden kerran rakennuksen elinkaaren aikana, vaikka vaihtoja suoritettaisiinkin. [1, 31-32.]

3.2.2 Hiilinielut

Rakentamisessa hiilinieluja ovat sementtipohjaiset rakennusmateriaalit, kuten betoni. Betonin ollessa kosketuksessa ilmaan se karbonatisoituu ja sitoo itseensä hiilidioksidia ilmakehästä. Betonin kyky ja nopeus sitoa hiilidioksidia on riippuvainen muuttujista, kuten käytetystä sementistä ja ympäristöolosuhteista. [12.]

Karbonatisoitumisen johdosta syntyvän hiilinielun voi huomioida osaksi hiilikädenjälkeä vain, jos karbonatisoitumisen aiheuttamat vaihdot ja korjaukset on huomioitu hiilijalanjäljen arvioinnissa. Laskennassa noudatetaan standardin EN 16757 liitteen BB mukaista menettelyä, suomalaisia sääolosuhteita ja tarkasteluajanjaksoja. [1, 32-33.]

4 Ympäristötietoinen suunnittelu

4.1 Yleistä

Suunnittelutyö koostuu kolmesta pääkokonaisuudesta toimivuus, taloudellisuus ja ekologisuus. Ympäristötietoisessa suunnittelussa keskitytään elinkaariajattelun mukaiseen ekologisuuteen. [13, 1.] Ekologisuus jaotellaan ympäristönäkökohtiin, joita ovat luonnonvarojen kulutus, ympäristökuormat, sisäolosuhteiden laatu, käyttöikä, prosessi sekä yhdyskunta ja luonto. Ympäristönäkökohdat jaotellaan vielä niin sanottuihin alaluokkiin, jolloin merkittävät ympäristöhaitat tunnistetaan ja huomioidaan (taulukko 1). Ympäristönäkökohtien luokittelun perustana on kansainvälisen Green Building Council -järjestön luokittelusystematiikka, jonka kehityksessä VTT on ollut mukana. [14, 1,5.]

Taulukko 1. Ympäristönäkökohdat ja niiden alaluokat [13, 7].

Luonnonvarojen kulutus				Ympäristökuormat			Sisäolosuhteiden laatu			Käyttöikä	Prosessi	Yhdyskunta ja luonto								
Energian kulutus	Maan käyttö	Veden käyttö	Raaka-aineet	Päästöt ilmaan	Kiinteät jätteet	Nestemäiset jätteet	Muut (ongelma-jätteet)	Ilman laatu	Lämmitys	Valaistus	Melu ja akustiikka	Järjestelmien hallinta	Muunneltavuus	Kestävyys ja käyttöikä	Suunnittelu ja rakentaminen	Ylläpidon organisointi	Sijainti, kuljetukset	Vaikutus lähiympäristöön	Luonnon monimuotoisuus	Kulttuuriympäristö, maisema

Suurin vaikutusmahdollisuus rakennushankkeen ympäristönäkökohtiin on tilaajalla/rakennuttajalla ja arkkitehdillä. Tilaajan/rakennuttajan ja arkkitehdin vaikutusmahdollisuudet ovat erittäin merkittävät muun muassa energian kulutukseen, maan ja veden käyttöön, muunneltavuuteen, kestävyteen ja käyttöikään, suunnitteluun ja rakentamiseen, ylläpidon organisointiin, sijaintiin, lähiympäristön vaikutuksiin, luonnon monimuotoisuuteen ja maisemaan. [14, 7-8.] Rakennesuunnittelija tuo oman osaamisensa näiden toimijoiden asettamiin tavoitteisiin ja toimii tavoitteiden puitteissa.

Merkittävät vaikutusmahdollisuudet ympäristönäkökohtiin rakennesuunnittelijalla on muunneltavuuteen, kestävyteen ja käyttöikään, energian kulutukseen, raaka-aineisiin, päästöihin ilmaan ja kiinteään jätteeseen. Näistä erittäin merkittäviä ovat muunneltavuus, kestävyys ja käyttöikä. [14, 7.]

Suunniteltu käyttöikä betonirakentamisessa perustuu ulkorakenteiden suunniteltoon. Ulkorakenteiden käyttöikään vaikuttavat betonin huokoisuus, teräksen laatu, suojabetonin paksuus, sekä vaikeasti ennustettavat tekijät kuten ilma- saasteet. Betonikerrostalojen tyypillinen suunniteltu käyttöikä on 50 vuotta, mutta tämä todennäköisesti tarkoittaa ulkorakenteiden laajaa peruskorjaustarvetta eikä koko rakennuksen purkukuntoisuutta. TALO-hankkeen asiantuntiahaastattelujen mukaan 50 vuoden suunnitellulla käyttöiällä suunnitellut ulkorakenteet voivat olla ympäristöystävällisiä verrattaessa 100 vuoden ulkorakenteisiin, jos ne on suunniteltu helposti kierrätettäväksi ja vaihdettavaksi. [9, 42.]

TALO-hankkeen asiantuntiahaastatteluissa puuta pidettiin yleisesti oikeinkäytettynä hyvinkin pitkäikäisenä materiaalina. Puurakenteiden sijoitusratkaisuja tulee harkita, ja kiinnittää erityishuomiota ympäristötekijöihin. Vaativissa olosuhteissa, kuten merenrannalla ei puujulkiverhous välttämättä ole kovin pitkäikäinen ja kestävä ratkaisu. Yleisesti haastatteluissa painotettiin oikeiden materiaalien käyttämistä oikeissa paikoissa, ja jo toimivuutensa osoittaneiden rakenteiden käyttöä. Asiantuntijahaastatteluissa yksi tärkeä havainto oli se, että suunnitellulla käyttöiällä ja todellisella käyttöiällä ei ole välttämättä mitään tekemistä keskenään. Tavallisimmat syyt asuinkerrostalon purkamiseen ovat tontin kohonnut arvo verrattuna rakennukseen, rakennuksen huonokuntoisuus, sekä vanhanaikainen toiminnallisuus ja ulkonäkö. [9, 43-44.]

Kestävyys mielletään usein rakennuksessa käytettyjen materiaalien kestävyys- teen, vaikka sitä tulisi lähestyä laajemmin. Rakennuksen kestävyys- teen merkittävästi vaikuttaa myös se, miten rakennus muuntautuu käyttäjätarpeiden muuttu- essa. Muuntojoustoltaan heikko rakennus tullaan usein purkamaan ja korvaa- maan uudella tarpeisiin soveltuvalla rakennuksella, vaikka materiaalien käyttöikä ei sitä edellyttäisikään. [15, 17.] Muuntojoustavalla suunnittelulla pystytään vai- kuttamaan rakennuksen kestävyys- teen ja näin lisäämään rakennuksen käyttöikää.

Rakennusmateriaalien määrä kasvaa energiatehokkuuden parantamisen myötä, jolloin materiaalien minimointi ja valinta nousee tärkeämpään rooliin. Pyrkimys materiaalien minimointiin ja valintaan ei yksin riitä tuottamaan huomattavia

vaikutuksia päästöissä rakennuksen elinkaaren aikana. Näkyviä päästö vaikutuksia syntyy, kun kohdistetaan huomiota useampaan muutokseen. [16, 71.]

Ilmastonmuutoksen johdosta kasvava sademäärä, sekä lisääntyvä pilvisyys ja tuulisuus aikaansaavat homekasvustolle entistä otollisemmat olosuhteet yhdessä kohoavan lämpötilan ja lyhenevän kuivumiskauden kanssa. Lämmöneristyksen lisäys pienentää rakenteen läpi kulkevaa lämpövirtaa, jolloin suhteellinen kosteus rakenteen ulko-osissa nousee. Rakenteiden vanhetessa vaurioituminen tapahtuu pääosin ilmaston säärasituksista. Ilmastonmuutos lisää näitä säärasituksia, joka johtaa rakenteiden korjaus- ja huoltotarpeisiin käyttöiän aikana. Rakenteet saadaan kosteusteknisesti toimiviksi seuraavan 100 vuoden aikana, kun huomioidaan tuuletusratkaisujen toimivuus, ilmatiiveys, veden poisto, rakenteiden ja materiaalien kestävyys rakennus- ja käytönaikaisissa olosuhteissa, pintamateriaalien soveltuvuus rakenteeseen sekä yhteensopivat suunnitteluratkaisut. [17, 2,100,319.]

4.2 Muuntojoustavuus asuin- ja toimistorakennuksissa

Rakennuksen muuntojoustavuudella pyritään varautumaan tulevaan tarpeeseen muuttaa rakennusta tai rakennuksenjärjestelmiä. Tulevia tarpeita voivat olla käyttötarkoituksen tai käyttötapojen muutos, sekä olosuhteiden muutos kuten ilmastonmuutos. Kaavoituksen joustavuudella on suuri merkitys muuntojoustavuuden ja muunneltavuuden toteutumiseen. Kaavamuutokset ovat usein epävarmoja ja pitkiä prosesseja. Kaavojen tulisi sallia erilaisia käyttötarkoituksen muutoksia, jotta muuntojoustavuutta ja muunneltavuutta pystyttäisiin toteuttamaan tehokkaasti. Osassa tapauksista alueen kaava ei salli käyttämättömänä olevien toimistorakennuksen muuntamista asuinrakennukseksi, vaikka tätä haluttaisiinkin. Tavanomainen ajattelutapa kaavoituksessa on, että kiinteistö ja sen käyttötarkoitus kulkevat käsikädessä vaikkei tämä palvele käyttäjiä kovinkaan hyvin. Konseptien kehittyessä uskotaan lainasäädännön seuraavan perässä. [18, 5,44,46.]

Muuntojoustavuutta voidaan toteuttaa rakentamisen suunnittelu-, rakentamis- ja rakennuksen käyttövaiheessa. Suunnittelun aikana toteutettavaa muuntojoustoa

sanotaan suunnittelujoustoksi. Suunnittelujoustolla luoda vaihtoehtoisia ratkaisuja suunniteltavan rakennuksen toteutukseen. [18, 6.]

Rakennuksen käyttövaiheen aikaista muuntojoustoa määritellään muunneltavuudella ja monikäyttöisyydellä. Muunneltavuudella tarkoitetaan rakennuksen tai tilan muuntautuvuutta uuteen käyttötarkoitukseen rakennusteknisiä muutoksia tekemällä. Monikäyttöisyydellä tarkoitetaan rakennuksen tai tilan sopeutumista uuteen käyttötarkoitukseen ilman rakennusteknisiä muutoksia, kuten kalustamisen avulla. [18, 5.]

Muunneltavuuden suunnittelussa peruseriaatteena voidaan pitää rakenteiden ja etenkin kantavien rakenteiden sijoittelua ja suunnittelua siten, että ne mahdollistavat järjestelmien, kalusteiden ja varusteiden vaihtelevaa sijoittelua sisätilasuunnitelmissa ja tilajaoissa. Pilarirakenteet ja pitkät jännevälit ovat muunneltavuuden kannalta suotuisia, kuten pilari-palkki- ja pilari-laattarunkojärjestelmissä. [18, 12.]

Toimistorakennuksissa muuntojoustavuuden huomioiminen suunnittelussa on vallitseva periaate, kun taas asuinrakennuksissa se on vähäisempi [19, 1]. Toimistorakennuksien käyttäjät vaihtuvat ja tarpeet muuttuvat, jolloin rakennukselta vaaditaan muuntojoustavuutta ja yleispäteviä ratkaisuja. Muuntojoustavan toimistorakennuksen ominaisuuksia ovat:

- Runkojärjestelmä, joka mahdollistaa suuret yhtenäiset tilat.
- Rungon muunneltavuus, kuten julkisivujen ja välipohjien aukotus.
- Rungon, väliseinien, tekniikkajärjestelmien ja kalusteiden riippumattomuus toisistaan.
- Väliseinien, kalusteiden ja teknistenjärjestelmien helppo muunneltavuus.
- Riittävä tilakorkeus ja -leveys. [20, 4].

Asuinrakennuksissa muuntojoustavuus kohdennetaan asuinhuoneistoihin, joissa pyritään tarjoamaan erilaisia koko, pohjaratkaisu sekä pinta- ja varustevaihtoehtoja asukkaalle. Muuntojoustavan asuinhuoneiston ominaisuuksia ovat:

- Mahdollisuus muuttaa erikokoisten asuntojen määrää kysynnän mukaan.
- Asuinhuoneiston muuttuvien osien räätälöinti asukkaan toiveiden mukaisesti, kuten makuuhuoneiden määrän lisäys, vähentäminen tai yhdistäminen.

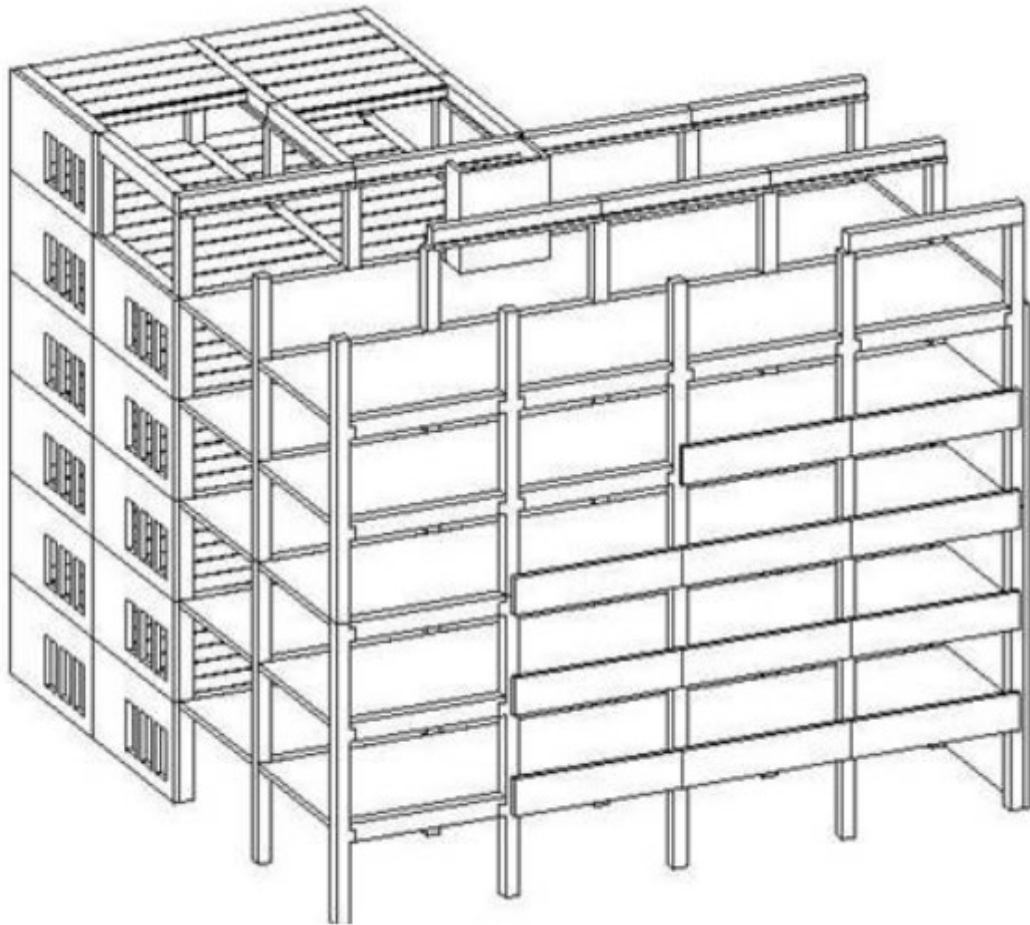
- Asuinhuoneiston kiinteidenosien pieni räätälöinti asukkaan toiveiden mukaisesti, kuten saniteettitilojen pieni muunnelma vakioratkaisusta.
- Mahdollisuus tilojen monipuoliseen sisustukseen. [21, 1-2.]

Kun rakennuksen käyttöikää pyritään pidentämään, on mahdollista, että rakennuksen käyttötarkoitus muuttuu ainakin osittain. Käyttötarkoituksen muutos voi olla asuinrakennuksen muuttaminen toimistorakennukseksi tai toisinpäin. Alla on esitetty yleisellä tasolla rakennesuunnittelussa huomioonotettavia seikkoja, jotta rakennus soveltuisi asuin- kuin toimistorakennukseksikin.

4.2.1 Runkojärjestelmät

Rakennusrungot ryhmitellään rakennusteknisten toimintatapojen ja keskeisten rakennusosien mukaan runkojärjestelmiin/runkotyyppeihin [22, 77]. Suomessa tavallisimmin käytetty toimistorakennuksien runkojärjestelmä on pilari-palkkijärjestelmä [23]. Asuinrakennuksissa tavallisimmin käytetty runkojärjestelmä on kantavien väli- ja julkisivuseinien järjestelmä [24]. Kantavien väli- ja julkisivuseinien järjestelmä soveltuu melko huonosti toimistorakennuksien runkojärjestelmäksi, koska kantavat väliseinät rajaavat tilan ja heikentävät tilan muunneltavuutta.

Pilari-palkkirunkojärjestelmä koostuu pystysuuntaisista pilareista ja vaakasuuntaisista suorakaide-, leuka- tai matalaleukaliittopalkeista, sekä palkkien päälle tukeutuvista laatoista. Runkojärjestelmä jäykistetään seinillä, jotka pyritään sijoittamaan muuntojoustavuudelle vähiten haittaa aiheuttaviin paikkoihin kuten porrashuoneeseen, hissikuiluun ja palo-osastojen rajoille. Jäykistävien seinien määrän minimoinnin takia tulee suunnittelussa kiinnittää huomiota riittävän jäykistyksen saavuttamiseen, ja jäykisteiden oikeaan sijoitteluun. Jos jäykistäviä seiniä tulee haitallisen paljon, voidaan vaihtoehtoisesti jäykistykseen käyttää jäykistysristikoita tai diagonaalirakenteita (exoskeleton-järjestelmä), jotka sallivat vapaamman muuntelun. [23.] Pilari-palkkirunkojärjestelmä on havainnollistettu kuvassa 6 ja järjestelmän hyvät ja huonot puolet esitetty taulukossa 2.

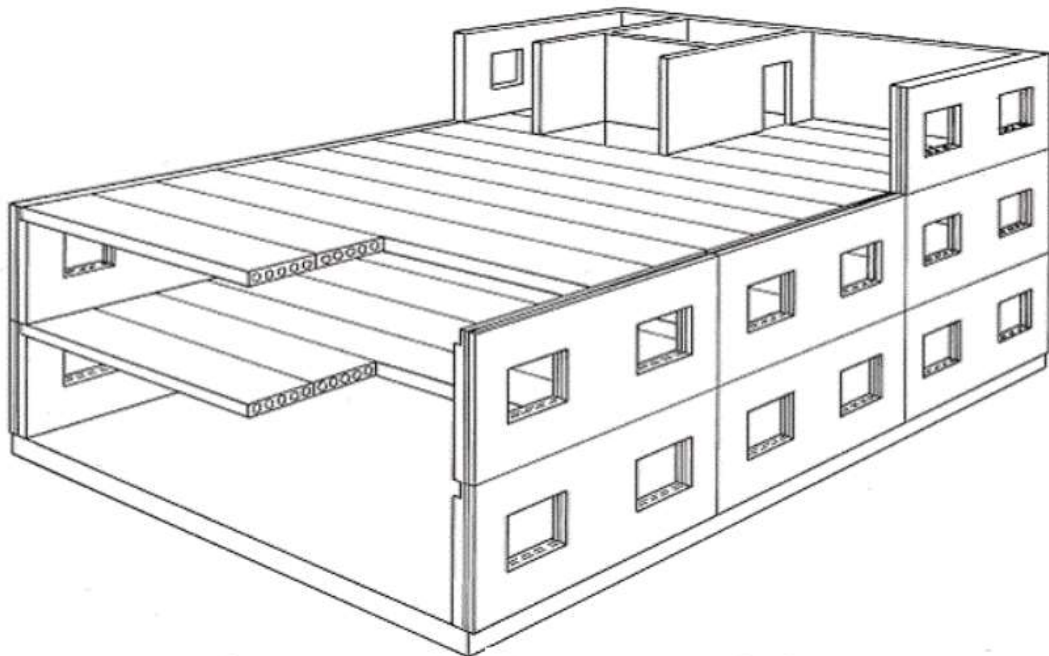


Kuva 6. Pilari-palkkirunkojärjestelmä [23].

Taulukko 2. Pilari-palkkirunkojärjestelmän hyvät ja huonot puolet [23], [25].

Pilari-palkkirunkojärjestelmän hyvät puolet
- Julkisivun aukotuksella ja arkkitehtuurilla enemmän vapauksia
- Rungon pystytys nopeaa ja julkisivun asennus ei tahdita
- Välipohjalaattojen tasainen alapinta mahdollistaa väliseinien ja tekniikkajärjestelmien vapaan sijoittelun (vain matalaleukapalkkijärjestelmässä).
- Sallii sisätilojen muuntojoustavuuden
- LVIS-tekniikkaa voidaan sijoittaa välipohjapalkkien ontelotilaan, esimerkiksi ripalaatassa
Pilari-palkkirunkojärjestelmän huonot puolet
- Vaatii erilliset jäykisterakenteet
- Asennusaikainen stabiliteetti on heikko
- Palkkilinjat vievät tilaa taloteknisiltä asennuksilta, pois lukien matalaleukapalkkijärjestelmä

Kantavat julkisivut runkojärjestelmä koostuu kantavista julkisivun- ja kuilujenseinistä, ja näiden päälle tukeutuvista laatoista. Laattojen kapasiteetista ja jännemitoista riippuen voidaan rungon sisälle sijoittaa kantavia pilari-palkkilinjoja. [23.] Ilman sisälle sijoitettavaa pilari-palkkilinjaa rungonsyvyys voi olla enintään noin 18-20 metriä, käytettäessä ontelolaattaa. Erityistä huolellisuutta tulee kiinnittää suunniteltaessa kantavan julkisivu seinän aukotuksia [24]. Kun käytetään yhteen suuntaan kantavia laattarakenteita, jää osa julkisivusta vapaammin aukotettavaksi. Kantavat julkisivut runkojärjestelmä on havainnollistettu kuvassa 7 ja järjestelmän hyvät ja huonot puolet esitetty taulukossa 3.

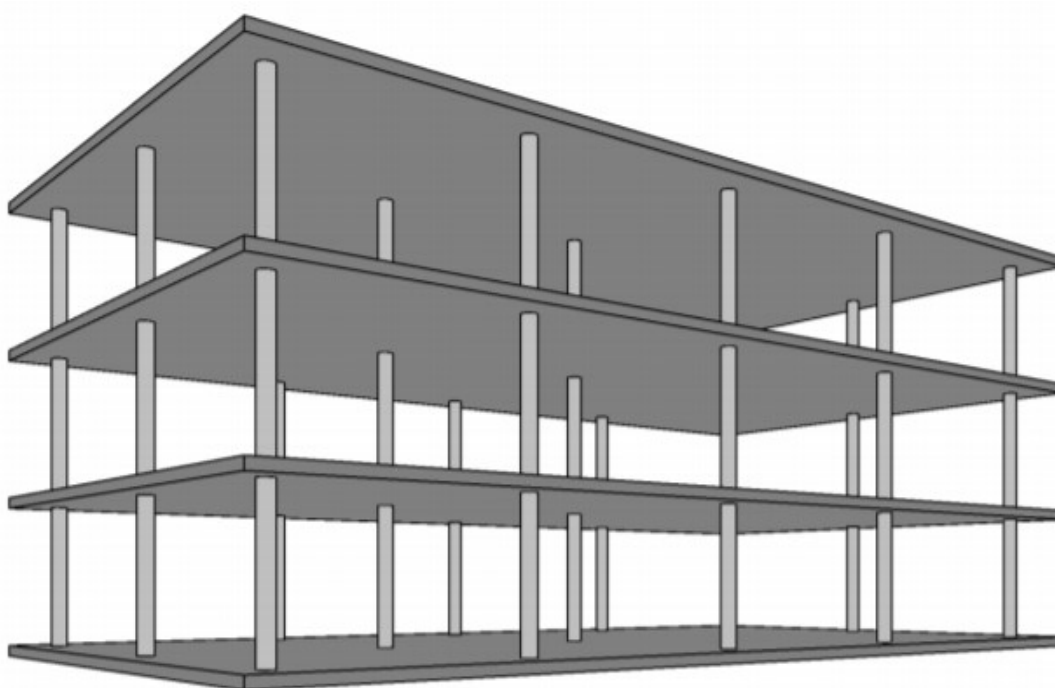


Kuva 7. Kantavat julkisivut runkojärjestelmä [23].

Taulukko 3. Kantavat julkisivut runkojärjestelmän hyvät ja huonot puolet [23].

Kantavat julkisivut runkojärjestelmän hyvät puolet
- Sallii putki- ja kaapeliviennit julkisivuseinien sisäpinnassa
- Päästään kohtuullisiin kerroskorkeuksiin
- Sallii sisätilojen muuntojoustavuuden
Kantavat julkisivut runkojärjestelmän huonot puolet
- Rajoittaa julkisivun aukotusta ja arkkitehtuurin vapauksia
- Rungon pystytyksessä tahdittavia tekijöitä

Pilari-laattarunkojärjestelmä koostuu pystysuuntaisista paikallavalu tai elementti-pilareista ja paikallavalu teräsbetoni- tai jännebetonilaatoista. Pitkiin jänneväleihin ja monimuotoisempiin ratkaisuihin päästään jännebetonilaatalla. [22, 79.] Teräsbetonilaatta soveltuu noin 8 metrin jänneväleihin saakka ja jännebetonilaatalla päästään 10 metriin ja jopa sen yli. Jäykistävien ja täydentävien rakenteiden sijoittelu rungossa on melko vapaata. [26.] Runkojärjestelmä yleisesti jäykistetään hissikuilun ja porrashuoneen seinillä, sekä voidaan tarvittaessa lisätä jäykistäviä mastoseiniä tai ristikoita. Pilari-laattarunkojärjestelmä on havainnollistettu kuvassa 8 ja järjestelmän hyvät ja huonot puolet on esitetty taulukossa 4.



Kuva 8. Pilari-laattarunkojärjestelmä [27, 2].

Taulukko 4. Pilari-laattarunkojärjestelmän hyvät ja huonot puolet [28, 4-5].

Pilari-laattarunkojärjestelmän hyvät puolet
- Tasainen välipohjalaatan alapinta mahdollistaa väliseinien ja talotekniikkajärjestelmien vapaan sijoittelun
- Sallii suuretkin järjikkäteen tehtävät reiät laatan keskialueella
- Julkisivujen aukotuksella ja arkkitehtuurilla enemmän vapauksia
- Sallii sisätilojen muuntojoustavuuden
Pilari-laattarunkojärjestelmän huonot puolet
- Vaatii erilliset jäykisterakenteet
- Rungon pystytys hidasta

4.2.2 Rungon muunneltavuus

Rakennuksen käytön aikainen muuntojoustavuus perustuu muunneltavuuteen ja monikäyttöisyyteen. Suunnittelun alussa joudutaan miettimään ja valitsemaan painotetaanko muuntojoustavuudessa muunneltavuuteen vai monikäyttöisyyteen. Jos muuntojoustavuudessa painotetaan monikäyttöisyyttä, niin suunnittelutyössä merkittäväksi nousee tilojen, huoneiden, pohjaratkaisujen ja kulkuyhteyksien suunnittelu. Jos muuntojoustavuudessa painotetaan muunneltavuutta, niin suunnittelutyössä korostuu kantavien ja ei-kantavien rakenteiden tyypit ja sijoittelu, rakentamisen ja purkamisen keinot, rakentamistavat ja -prosessit, sekä liitokset ja taloteknistenjärjestelmien sijoitus. [18, 13.]

Asuinkerrostaloissa huoneistojen väliset seinät ovat yleensä kantavia seiniä, runkojärjestelmän sekä palo- ja ääniteknistenvaatimuksien takia [24]. Jotta rakennus olisi muuntautuva, tulisi huoneistojen väliset seinät toteuttaa ei kantavina muurattuina- tai rankaseininä. Huomioiden, että seinät täyttävät niille asetetut vaatimukset. Osastoivat ei kantavat seinät mahdollistavat vapaamman aukotuksen ja seinän purkamisen kokonaan käyttötarkoituksen muuttuessa. Yllä esitetyissä pilari-palkki- ja pilari-laattarunkojärjestelmissä käytetään ei kantavaa julkisivua. Ei kantava julkisivu sallii vapaamman ikkunoiden ja ovien sijoituksen niin suunnittelun kuin rakennuksen käytönaikana.

Laajennettavuus on ominaisuus, jolla pystytään kasvattamaan tiloja horisontaalisesti tai vertikaalisesti. Jos varaudutaan horisontaaliseen laajennettavuuteen, tulee suunnittelussa huomiota kiinnittää rakenteiden purettavuuteen. Jos varaudutaan vertikaaliseen laajennettavuuteen, tulee suunnittelussa huomiota kiinnittää kantavien rakenteiden ja perustusten kapasiteettiin. [18, 12.] Suunnittelutyössä vertikaalinen laajennettavuus näkyy lisäkerroskuormien huomioon ottamisella kantavien rakenteiden suunnittelussa ja horisontaalinen laajennettavuus näkyy liitosten suunnittelussa.

Esimerkkinä laajennettavuudesta voidaan tuoda esille Melbournen Southbank-alueelle toteutetusta kymmenen lisäkerroksen laajennuksesta, joka kaksinkertaistaa rakennuksen alkuperäisen korkeuden. Alkuperäisissä suunnitelmissa oli

varauduttu lisäkerrosten rakentamismahdollisuuteen. Lisäkerrosten materiaaliksi valikoitui CLT, koska betonilla tai teräksellä ei olisi onnistuttu luomaan taloudellisesti kannattavaa määrää lisäneliöitä, niiden painon takia. [29.]

Rakennuksen tai rakennusosien purettavuus antaa edellytykset uusiokäytölle, kierrätykselle ja laajennettavuudelle. Rakennusosien saavutettavuus ja riippumattomuus ovat tärkeässä asemassa purettavuudessa. Saavutettavuudella tarkoitetaan purettavan osan tavoittamista mahdollisimman pienellä vaikutuksella lähellä oleviin rakenteisiin ja osiin. Saavutettavuus nousee todella merkittäväksi sellaisilla osilla, joita vaihdetaan usein. Riippumattomuudella tarkoitetaan osien vaihtamista ja korjaamista, siten etteivät ne vaikuta liittyviin osiin ja järjestelmiin. Riippumattomuutta edesauttaa keskenään samanlaisten liitosratkaisujen käyttö, sekä mahdollisuus liitosten avaamiseen ja uudelleen sulkemiseen. [18, 14-15,48.]

4.2.3 Kerroskorkeudet ja moduulimitat

Asuintilan vähimmäishuonekorkeus ja -kerroskorkeus on määritetty ympäristöministeriön asetuksessa 1008/2017 seuraavalla tavalla: ”Asuin-, majoitus- ja työtilan huonekorkeuden on oltava vähintään 2,5 metriä.”, ”Asuinkerrostalon kerroskorkeuden on oltava vähinkään kolme metriä.” [30.] Vapaan huonekorkeuden lisäksi kerroskorkeuteen tulee huomioida taloteknisten järjestelmien vaatima tila, sekä välipohjarakenteen paksuus. Yleinen asuinkerrostalojen kerroskorkeus on 3-3,2 metriä.

Toimistorakennusten kerroskorkeudet ovat tyypillisesti 3,3-3,9 metriä ja liikerrakennuksien 4,2-4,8 metriä riippuen tapauskohtaisesta arkkitehtuurista, taloteknisten järjestelmien tilavaatimuksista, rakenteiden paksuuksista ja tilojen käyttötarkoituksesta. Tapauskohtaiset kerroskorkeuden erot toimisto- ja liikerakennuksissa ovat suuria. [23.]

Jotta rakennus soveltuisi asuin- ja toimistokäyttöön, tulisi kerroskorkeus valita toimistorakennukseen soveltuvaksi. Kerroskorkeuteen vaikuttaa usea asia, joten

tulisi hankekohtaisesti pohtia millaisille potentiaalisille käyttötarkoituksen muutoksille rakennus elinkaarensa aika voisi altistua ja millaisille ei. Asuinkerrostalon toteuttaminen tavanomaista korkeammalla kerroskorkeudella luo mahdollisuuden parvien rakentamiseen, joilla voidaan luoda lisätilaa asuinhuoneistoihin.

Toisaalta kerroskorkeuden nostaminen näkyy rakennuksen ympäristövaikutuksia lisäävänä tekijänä. Ympäristövaikutukset ovat sitä suurempia mitä painavampaa materiaalia pystyrakenteet ovat, ja mitä suurempi osuus pystyrakenteiden massalla on koko rakennuksen massasta. Kerroskorkeuden nostaminen näkyy rakennusaikaisena materiaalimenekin lisääntymisenä ja käytönaikaisen energiankulutuksen kasvuna. [31, 58-63.] Kerroskorkeuden lisäys näin nostaa rakennuksen hiilijalanjälkeä neliötä kohti.

Pilarirungollisten rakennusten moduuliverkko sijoitetaan keskeisesti pilareihin nähden. Rakennuksen pituussuuntaiseen pilarijakoön vaikuttavat tilaratkaisut, kuten toimistohuoneet. Toimistojen moduulijako valitaan tavallisemmin toimistohuone koon perusteella. Tyypillisimpiä toimistohuoneiden leveyksiä ovat 2,4 metriä ja 2,7 metriä. Jolloin tyypillinen pilareiden moduulijako on toimistohuoneiden kerrannaisia, kuten 7,2, 8,4, 5,4 tai 8,1 metriä. Elementtilaattoja käytettäessä suositeltavaa olisi ensisijaisesti käyttää 12M moduulijärjestelmää, jolloin täysien laattojen käyttö maksimoitaisiin. [23.]

Rakennuksen laattojen suuntainen, eli poikittaissuuntainen pilarijako määräytyy pituussuuntaisen pilarijaon, jänneväliden, tilajaon ja taloteknisten järjestelmien installaatioiden mukaan. Poikittaissuuntainen pilarijako sallii helpommin suuremmat jännevälit ja poikkeamisen moduulijärjestelmistä. Käytettäessä julkisivuelementtejä tulee pilarijaossa huomioida elementtien soveltuvuus pitkille jännemitoille. Betoniset julkisivuelementit soveltuvat lähtökohtaisesti 6-8 metrin jänneväleille. [26, 4.] Kuljetus- ja nostoteknisesti puiset LVL- ja CLT-julkisivuelementit soveltuvat lähtökohtaisesti 6-13 metrin jänneväleihin, vaikka saatavilla on 22-25 metrisiä suurelementtejä.

4.2.4 Talotekniikka

Taloteknisiäratkaisuja määrittää rakennukselle ja tiloille asetetut muuntojoustavuus vaatimukset. Asuin- ja toimistorakennuksissa yleisesti pystysuuntainen talotekniikka viedään keskitetysti erilaisissa tekniikkakuiluissa ja -hormeissa. Kuilujen ja hormien sijoituksessa tulee huomioida, että ne sijoitetaan mahdollisimman vähän tilaratkaisuja sitovalla tavalla. [21, 6-7.] Talotekniikan vaakavedot tehdään laatan alapuolella alakatossa ja laatan sisällä, sekä laatan päälle asennettavassa korotuslattiaissa. Talotekniikan tarve on suuri etenkin toimistorakennuksissa, jolloin niiden tilantarve on huomioitava kerroskorkeudessa. Jotta talotekniikan muutokset pystytään toteuttamaan, tulee rakenteet sijoittaa siten, etteivät ne rajoita taloteknisiä asennuksia. [32, 6,10.]

Korotuslattiajärjestelmä on välipohjan päälle asennettava kevyt rankarakenteinen lattia. Korotuslattiajärjestelmän välitila jää putkiasennuksille vapaaksi, joka mahdollistaa putkiasennuksien muutokset ja vapaamman saniteettitilojen sijoittelun. Järjestelmän tilantarve riippuu viemäreiden pituudesta ja etäisyydestä pystynousuun. [21, 8.] Kuvassa 9 on esitetty korotuslattiajärjestelmän periaate.



Kuva 9. Kevyt rankarakenteinen korotuslattiajärjestelmä [21, 7].

Nyky aikaisten muovista valmistettujen jätevesiviemäreiden tekninen käyttöikäennuste on noin 50 vuotta normaalilla käytöllä. Viemärit ovat kuitenkin alltiita

mekaaniselle rasitukselle, joten rasituksen kohoaminen tulee huomioida teknistä käyttöikää vähentävänä tekijänä. Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmien päälaitteiden ja kanavistojen uusimistarve ei yleensä johdu järjestelmien kulumisesta vaan käyttötarkoituksen ja tilojen muutoksista tai järjestelmän toimintaperiaatteen muutoksista. Päälaitteisiin ja kanavistoihin liittyvät osat, kuten puhaltimet, patterit, säätimet ja laitteet kuluvat käyttöajasta riippuen, jolloin näiden osien tekniset käyttöiät ovat 10-40 vuoden välillä. Laitteiden suodattimet suositellaan vaihdettavaksi tai puhdistettavaksi 6-12 kuukauden välein. [33, 22-25.]

5 Esivalintataulukot hiilijäljen ja rakenteiden optimointiin

5.1 Yleistä

Opinnäytetyön osana tuotettiin tavallisimpien kantavien rakenteiden kantokyvyn ja hiilijäljen optimointiin tarkoitettuja esivalintataulukoita. Esivalintataulukot on tarkoitettu käytettäväksi rakennevaihtoehtojen vertailuun alustavan rakennesuunnittelun ja elinkaariarvioinnin tueksi. Esivalintataulukot eivät korvaa kohdekohtaista rakennesuunnittelua, vaan toimivat apuna rakenteiden alustavassa valinnassa. Esiitettyjen rakenteiden käyttökohteet on rajattu asuin- ja toimistorakennuksiin. Esivalintataulukot on esitetty työn liitteet osiossa, josta ne saadaan tarvittaessa tulostettua erilleen.

Taulukoista voidaan lukea rakenteen kantokyky, sekä sen tuottama hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki rakenteen tuotevaiheen (A1-3) osalta. Rakenteiden kantokyky on esitetty kuvaajalta luettavassa muodossa, kun tiedetään rakenteen jännemitta/korkeus ja kuormitukset. Esivalintataulukoissa on osittain hyödynnetty valmiita kantokykykäyriä. Rakenteiden osalta, joista ei ole valmiita kantokykykäyriä löytynyt on ne laskettu Eurokoodien ja Suomen kansallisten ohjeiden mukaisesti.

Rakenteiden tuotevaiheen (A1-3) hiilijalanjälki on esitetty positiivisena lukuna ja hiilikädenjälki negatiivisena lukuna kapasiteettikuvaajan vieressä. Rakenteiden hiilijalanjälki ja -kädenjälki tiedot perustuvat yleisiä ympäristötietokannoista

löytyviin valmistajien tuotekohtaisiin ympäristöselosteisiin (EPD). Materiaalien ja tuotteiden osalta, joista ei ole saatavilla paikallista ympäristöselostetta on hiilijalanjäljen ja hiilikädenjäljen laskennassa käytetty One Click LCA -ohjelmasta löytyvää yleistä paikallista ympäristödataa. Sementtipohjaisten materiaalien karbonatisoitumisesta, seuraavaa hiilikädenjälkeä (hiilinielua) ei olla huomioitu taulukoissa.

Rakenteiden elinkaaren vaiheiden A1-3 hiilijalanjäljen käsin laskentaan tarvitaan tuotteiden ympäristöseloste tai ympäristödata. Teräsbetonirakenteissa hiilijalanjälki koostuu betonista ja harjateräksistä, tällöin kokonaishiilijalanjälki on betonin ja harjaterästen hiilijalanjäljen summa. Alla on esitetty paikalla valettavan teräsbetonilaatan hiilijalanjäljen laskenta.

Lasketaan, kuinka monta harjateräskiloa on yhdessä neliössä teräsbetonilaattaa. Geometrinen raudoitussuhde (ρ) saadaan kaavasta 1.

$$\rho = \omega * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \quad (1)$$

jossa ω on mekaaninen raudoitussuhde
 f_{cd} on betonin puristuslujuuden mitoitusarvo
 f_{yd} on harjateräksen mitoituslujuus

Teräskilot laattaneliötä kohti (m) saadaan kaavasta 2.

$$m = V_c * \rho * \rho_s \quad (2)$$

jossa V_c on laatta neliön tilavuus
 ρ on geometrinen raudoitussuhde
 ρ_s on harjateräksen tilavuuspaino

Harjateräksen aiheuttama hiilijalanjälki yhtä laattaneliötä kohti ($kg CO_2e/m^2$) saadaan kaavasta 3.

$$kg CO_2e/m^2 = m * kg CO_2e/kg \quad (3)$$

jossa m on teräskilot laattaneliötä kohti
 $kg\ CO_2e/kg$ on harjateräksen ympäristöselosteessa esitetty arvo elinkaaren tuotevaiheen (A1-3) osalta.

Betonin aiheuttama hiilijalanjälki yhtä laattaneliötä kohti ($kg\ CO_2e/m^2$) saadaan kaavasta 4.

$$kg\ CO_2e/m^2 = h_l * kg\ CO_2e/m^3 \quad (4)$$

jossa h_l on laatan paksuus
 $kg\ CO_2e/m^3$ on betonin ympäristöselosteessa/ympäristödatassa esitetty arvo elinkaaren tuotevaiheen (A1-3) osalta.

Rakenteen kokonaishiilijalanjälki elinkaaren tuotevaiheen osalta saadaan kaavasta 5.

$$kg\ CO_2e/m^2\ total = kg\ CO_2e/m^2\ teräs + kg\ CO_2e/m^2\ betoni \quad (5)$$

jossa $kg\ CO_2e/m^2\ teräs$ on harjateräksen hiilijalanjälki yhtä laattaneliötä kohti.
 $kg\ CO_2e/m^2\ betoni$ on betonin hiilijalanjälki yhtä laattaneliötä kohti.

5.2 Välipohjarakenteet

Välipohjarakenteiden esivalintataulukot sisältävät ontelolaatat P32 ja P37 (liite 1), paikalla valettavat teräsbetonilaatat 240, 260 ja 280 mm (liite 2), CLT-laattaelementit 160, 180 ja 200 mm (liite 3) ja LVL-ripalaatat 51x300, 45x360 ja 51x400 (liite 4). Ontelolaattojen esivalintataulukkoissa on hyödynnetty valmiita kantokykykäyriä. Teräsbetonilaattojen kantokykykäyrät on laskettu standardin EN 1992-1-1 ja kansallisten liitteiden mukaisesti. CLT-laattaelementtien ja LVL-ripalaattojen kantokykykäyrät on laskettu suunnitteluohjeen RIL-205-1-2017 mukaisesti.

Kaikki esitetyt laattarakenteet ovat yksiaukkoisia, yhteen suuntaan kantavia ja vapaasti tuettuja laatta- ja laattapalkisto rakenteita. Laattarakenteiden hiilijalanjäljen ja -kädenjäljen laskennassa on käytetty valmistaja kohtaisia ympäristöselosteita ja yleistä paikallista dataa. Kantokykykäyrien ja hiilijäljen laskennassa käytetyt Eurokoodit, ohjeet, materiaali- ja lähtötiedot ja rajaukset on esitetty liitteiden ensimmäisellä sivulla.

5.3 Seinärakenteet

Seinärakenteiden esivalintataulukot sisältävät raudoittamattomat betoniseinät (liite 5), teräsbetoniseinät (liite 6) ja CLT-seinäelementit (liite 7). Taulukoissa on esitetty yleisiä seinärakenne paksuuksia, joita käytetään asuin- ja toimistorakennuksissa. Betoniseinien esitetyt paksuudet ovat 150, 180 ja 200 mm ja CLT-seinäelementeillä 100, 120, 140, 160, 180 ja 200 mm. Raudoittamattomien ja raudoitettujen betoniseinien kantokykykäyrissä on hyödynnetty valmiita kantokykytaulukkoita, joiden mukaisesti käyrät on piirretty. CLT-seinäelementtien kantokykykäyrät on laskettu suunnitteluohjeen RIL-205-1-2017 mukaisesti.

Kaikki esitetyt seinärakenteet on oletettu olevan ala- ja yläpäistään nivelellisesti tuettuja. Seinärakenteiden hiilijalanjäljen ja -kädenjäljen laskennassa on käytetty valmistaja kohtaisia ympäristöselosteita ja yleistä paikallista dataa. Kantokykykäyrien ja hiilijäljen laskennassa käytetyt Eurokoodit, ohjeet, materiaali- ja lähtötiedot ja rajaukset on esitetty liitteiden ensimmäisellä sivulla.

5.4 Pilarirakenteet

Pilarirakenteiden esivalintataulukot sisältävät teräsbetonipilarit (liite 8), liimapuu-pilarit (liite 9), neliö rakenneputki pilarit (liite 10) ja betoni-teräs-liittopilarit (liite 11). Teräsbetonipilareiden esivalintataulukkoissa on hyödynnetty valmiita puristuksen ja taivutuksen yhteisvaikutuskäyriä. Liimapuu- ja neliö rakenneputki pilareiden kantokyky on ilmoitettu normaalivoima kestävyutenä, kun sauva kuormittaa epäkeskeinen pystykuorma. Sauvan nurjahdus on huomioitu laskelmissa.

Liimapuupilareiden kantokykykäyrät on laskettu suunnitteluohjeen RIL-205-1-2017 mukaisesti. Neliö rakenneputki pilareiden kantokykykäyrät on laskettu käsikirjan SSAB Domex Tube -rakenneputket mukaisesti. Betoni-teräs-liittopilareiden kantokyky on ilmoitettu puristuksen ja taivutuksen yhteisvaikutuskäyrinä. Betoni-teräs-liittopilareiden yhteisvaikutuskäyrät on laskettu standardin EN 1994-1-1 ja Suomen kansallisen liitteen mukaisesti. Yhteisvaikutuskäyrien käytössä pilarin kuormituksesta aiheutuvia normaalivoiman ja momentin voimasuureita verrataan pilarin kestävyteen. Pilari kestää kuormituksen aiheuttamat rasitukset, jos voimasuureiden leikkauspiste jää yhteisvaikutuskäyrän sisäpuolelle.

Taulukot eivät sovellu käytettäväksi vinolle puristukselle, joka aiheuttaa rakenteeseen kahden akselin suhteen vaikuttavaa taivutusta. Pilarirakenteiden hiilijalanjäljen ja -kädenjäljen laskennassa on käytetty valmistaja kohtaisia ympäristöselosteita ja yleistä paikallista dataa. Kantokykykäyrien ja hiilijäljen laskennassa käytetyt Eurokoodit, ohjeet, materiaali- ja lähtötiedot ja rajaukset on esitetty liitteiden ensimmäisellä sivulla.

5.5 Palkkirakenteet

Palkkirakenteiden esivalintataulukot sisältävät teräsbetonipalkit (liite 12) ja LVL-palkit (liite 13). Teräsbetoni- ja LVL-palkkien esivalintataulukoissa on hyödynnetty valmiita kantokykykäyriä. Kaikki esitetyt palkkirakenteet ovat yksiaukkoisia ja vapaasti tuettuja.

Palkkirakenteiden hiilijalanjäljen ja -kädenjäljen laskennassa on käytetty valmistaja kohtaisia ympäristöselosteita ja yleistä paikallista dataa. Kantokykykäyrien ja hiilijäljen laskennassa käytetyt Eurokoodit, ohjeet, materiaali- ja lähtötiedot ja rajaukset on esitetty liitteiden ensimmäisellä sivulla.

6 Yhteenveto ja pohdinta

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kertoa elinkaariarvioinnin ja hiilijalanjäljen laskennan periaatteet, sekä koota ympäristötietoisessa rakennesuunnittelussa huomioon otettavia asioita Vahanen Suunnittelupalvelut Oy:n toimeksiantona. Liitteiksi työhön tuotettiin kantavien rakenteiden kapasiteetin ja hiilijäljen esivalintataulukoita.

Työn on tarkoitus antaa kosketuspintaa rakennusten hiilijalanjäljen arviointiin ja tuoda esiin rakennesuunnittelijan vaikutusmahdollisuuksia muuntojoustavuuden toteuttamiseen ja käyttöään pidentämiseen. Elinkaariarvioinnissa keskityttiin hiilijalanjälki indikaattorin tarkasteluun. Ympäristötietoisessa suunnittelussa keskityttiin asuin- ja toimistorakennuksien muuntojoustavuuteen ja siihen liittyviin asioihin, kuten runkojärjestelmään ja rungon muunneltavuuteen.

Työn osana tuotetuissa esivalintataulukoissa tarkoituksena oli yhdistää rakenteen alustava kantokykymitoitus ja sen tuottama hiilijälki samaan dokumenttiin. Osaan esivalintataulukoista löytyi valmiita kantokykykäyriä, mutta osaan rakenteiden kantokyvyt täytyi laskea itse. Rakenteiden kantokyvyt laskettiin Excel-ohjelmalla. Suurimpaan osaan rakenteista löytyi paikallinen valmistajakohtainen ympäristöseloste, joiden pohjalta hiilijalanjäljet ja hiilikädenjäljet taulukoihin on laskettu. Rakenteiden/materiaalien osalta, joihin ei paikallista ympäristöselostetta löytynyt käytettiin One Click LCA-ohjelman tietokannasta löytyvää yleistä paikallista ympäristödataa.

Rakennusalan hiilijalanjäljen arviointimenetelmät ja tietokannat ovat tällä hetkellä kehitteillä, mikä kertoo, että asia on melko uusi Suomessa. Uskonkin että, asetetut päästötavoitteet innostavat uusien ja innovatiivisten ratkaisujen kehittämiseen rakennusalalla.

Muuntojoustavuus on noussut puheen ja tutkiskelun aiheeksi yhä enemmän, kun kiinteistöjen käyttäjien muutostarpeet ovat nopeutuneet ja muuttuneet. Uskonkin,

että tämä tulee aiheuttamaan murrosta muun muassa rakennuksien käyttötarkoituksissa ja kaavoituksessa.

Työssä käsitellyt aihealueet ovat laajoja ja niissä riittää tulevaisuudessa paljon mielenkiintoisia tutkimus- ja kehityskohteita. Tällaisia voisivat olla muuntojouston rakennuksen kustannus tai ympäristövaikutusten vertailu case-kohteilla, pu-rettävienliitosten tutkiminen, sekä koko elinkaaren kattavat esivalintataulukot. Kokonaisuudessaan opinnäytetyö oli todella opettavainen ja lisäsi suuresti tietotaitoani kestävän kehityksen rakentamisesta.

Lähdeluettelo

1. Kuittinen, M. 2019. Rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmä. Helsinki: Ympäristöministeriö
2. Birgisdóttir, H. Nygaard Rasmussen, F. & Danish Building Institute. 2016. Introduction to LCA of Buildings. København: Danish Transport and Construction Agency.
3. Nissinen, A. 2013. Elinkaariarviointi, jalanjäljet ja painos-tuotosmalli. Suomen ympäristökeskus SYKE. [Viitattu 10.1.2020.] Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Tuotesuunnittelu_ja_tuotteet/Elinkaariarviointi_jalanjaljet_ja_panostuotosmalli
4. Bionova. 2017. Tiekartta rakennuksien elinkaaren hiilijalanjäljen huomioideseksirakentamisen ohjauksessa. Ympäristöministeriö. [Viitattu 9.1.2020.] Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Rakentamisen_ohjaus/Vahahiilinen_rakentaminen/Vahahiilisen_rakentamisen_tiekartta
5. SFS-EN 15978. 2012. Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method. Technical Committee CEN/TC 350.
6. SFS-EN ISO 14040. 2006. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS
7. United States Environmental Protection Agency. 2017. Understanding Global Warming Potentials. United States Environmental Protection Agency. [Viitattu 5.2.2020.] Saatavissa: <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>
8. SFS-EN 15804:2012 + A2:2019. 2019. Sustainability of construction works. Environmental product declarations. Core rules for the product category of construction products. Helsinki: Suomen standardisointiliitto SFS.
9. Kangas, H-L. Sankelo, P. Kautto, P. Ruokamo, E. Lazarevic, D. Mattinen-Yuryev, M. Turunen, T. Nissinen, A. 2019. Taloudellisten kannusteiden käyttö vähähiilisen rakentamisen ohjauksessa. TALO-hankkeen loppuraportti. Helsinki: Ympäristöministeriö.
10. ROTI. 2019. Rakennetun omaisuuden tila 2019. Helsinki: ROTI
11. Green Building Council Finland. 2013. Rakennusten elinkaarimittarit 2013. Green Building Council Finland. [Viitattu 14.1.2020.] Saatavissa: https://figbc.fi/wp-content/uploads/sites/4/2019/03/Rakennusten_elinkaarimittarit_2013.pdf
12. Danish Technological Institute. 2005. CO2 uptake during the concrete life cycle. Danish Technological Institute. [Viitattu 14.1.2020.] Saatavissa: <https://www.dti.dk/co2-uptake-during-the-concrete-life-cycle/background/14460,2>
13. SKOL ry. 1999. Ympäristötietoinen suunnittelu. 1. Lähestymistapa ja rajaukset. SKOL ry.
14. SKOL ry. 1999. Ympäristötietoinen suunnittelu. 4. Ympäristönäkökohtamatriisit. SKOL ry.
15. Tapio, J. 2015. Joustavan asunnon tilalliset logiikat. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.

16. Ahola, R. Liljeström, K. 2018. Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen pienentäminen kustannustehokkaasti vuokratiloiteissa. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus.
17. Vinha, J. Lukkarinen, A. Mäkitalo, M. Nurmi, S. Huttunen, P. Pakanen, T. Kero, P. Manelius, E. Lahdensivu, J. Köliö, A. Lähdesmäki, K. Piironen, J. Kuhno, V. Pirinen, M. Aaltonen, A. Suonketo, J. Jokisalo, J. Teriö, O. Koskenvesa & A. Palolahti, T. 2013. Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa. Tutkimusraportti 159. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.
18. Häkkinen, T. Ala-Kotila, P. 2019. Monikäyttöisyys ja muunneltavuus kestävässä rakentamisessa. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. [Viitattu 21.1.2020.] Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2019/T363.pdf>
19. Rakennustietosäätiö. 2016. RT 93-11231. Muuntojousto asuntosuunnittelussa. Yleiset periaatteet. Helsinki: Rakennustietosäätiö
20. Rakennustietosäätiö. 2014. RT 95-11151. Toimistotilat, Yleiset suunnitteluperusteet. Helsinki: Rakennustietosäätiö.
21. Rakennustietosäätiö. 2016. RT 93-11232. Muuntojousto asuntosuunnittelussa. Tila- ja pääsuunnittelu. Helsinki: Rakennustietosäätiö.
22. Suomen Betoniyhdistys ry. 2013. BY211. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja- Osa 1. Helsinki: BY- Koulutus Oy.
23. Betoniteollisuus ry. 2010. Toimisto- ja liikerakennukset. Betoniteollisuus ry. [Viitattu 20.1.2020.] Saatavissa: <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/rakennejarjestelmat/toimisto-ja-liikerakennukset>
24. Betoniteollisuus ry. 2010. Asuinrakennukset. Betoniteollisuus ry. [Viitattu 20.1.2020.] Saatavissa: <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/rakennejarjestelmat/asuinrakennukset>
25. Metsä Wood. 2015. Metsä Wood Kerto-Ripa-välipohjaelementti. Metsä Wood. [Viitattu 7.2.2020.] Saatavissa: <https://www.metsawood.com/fi/media/Uutiset/Pages/Metsa-woodin-Kerto-Ripa-valipohjaelementti.aspx>
26. Kestävä Kivitalo -yhtymä. 2020. Pilarilaatta rakenteena, mitoitus ja raudoitusohjeita. Kestävä Kivitalo -yhtymä. [Viitattu 20.1.2020.] Saatavissa: <https://www.kivitalo.fi/betonirakenteet/pilarilaatta-rakenteena-mitoitus-raudoitusohjeita/>
27. Toriseva, T. 2014. Pilarilaattojen suunnittelu eurokoodien mukaan. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Diplomityö. [Viitattu 20.1.2020.] Saatavissa: <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/22147/toriseva.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
28. Rakennustietosäätiö. 2000. RT 95-10719. Toimistotilat, tekninen suunnittelu. Helsinki: Rakennustietosäätiö.
29. Vistek. 2018. 55 Southbank-A world first vertical extension in CLT. Vistek. [Viitattu 7.2.2020.] Saatavissa: <https://www.vistek.com.au/55-southbank-a-world-first-vertical-extension-in-clt/>
30. Ympäristöministeriö. 2017. Ympäristöministeriön asetus asuin-, majoitus- ja työtiloista. 1008/2017. Helsinki: Ympäristöministeriö.
31. Tamminen, P. 2009. Asuinrakennusten luonnonvarakulutuksen arviointi MIPS-menetelmällä. Helsingin yliopisto. Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta. Pro gradu -tutkielma. [Viitattu 9.2.2020.] Saatavissa:

- https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/14111/Tamminen_valmis_gradu.pdf
32. Rakennustietosäätiö. 2004. RT 82-10821. Betonielementtirunkorakenteet. Helsinki: Rakennustietosäätiö.
 33. Rakennustietosäätiö. 2008. RT 18-10922. Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot. Helsinki: Rakennustietosäätiö.
 34. Betoniteollisuus ry. 2009. Kantokykykäyrät. Ontelolaatat. Asunnot ja toimitot: Lumikuorma. Betoniteollisuus ry. [Viitattu 18.2.2020.] Saatavissa: <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/kantokykykayrat/ontelolaatat>
 35. Betoniteollisuus ry. 2007. Kantokykykäyrät. Väliseinät. Raudoittamattomat seinät. [Viitattu 24.2.2020.] Saatavissa: <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/kantokykykayrat/valiseinat>
 36. Betoniteollisuus ry. 2007. Kantokykykäyrät. Väliseinät. Raudoitettut väliseinät. [Viitattu 25.2.2020.] Saatavissa: <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/kantokykykayrat/valiseinat>
 37. Betoniteollisuus ry. 2007. Kantokykykäyrät. Pilarit. Pilareiden kantokykykäyrät. [Viitattu 27.2.2020.] Saatavissa: <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/kantokykykayrat/pilarit>
 38. Betoniteollisuus ry. 2010. Kantokykykäyrät. Teräsbetonipalkit. TB-palkin kantokykykäyrät. [Viitattu 2.3.2020.] Saatavissa: <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/kantokykykayrat/terasbetonipalkit>
 39. Metsä Wood. 2019. Kerto LVL mitoitustaulukot. [Viitattu 3.3.2020.] Saatavissa: <https://www.metsawood.com/global/tools/materialarchive/materialarchive/kerto-lvl-mitoitustaulukot-fi.pdf>

Esivalintataulukot, Ontelolaatat

Taulukot soveltuvat käytettäväksi reiättömille ontelolaatoille, kun hyötykuormana on Luokka A (asuintilat), Luokka B (toimistotilat) tai lumikuorma. Käytettävästä hyötykuormasta pysyvän kuorman osuus on 15 %. Laattojen kuorman kantokyky on ilmoitettu ominaiskuormina. [34.]

Mitoituksessa käytetyt Eurokoodit:

- SFS-EN 1992-1-1 Betonirakenteiden suunnittelu
- SFS-EN 1992-1-2 Betonirakenteiden palomitoitus
- SFS-EN 13369 Betonivalmisosien yleiset säännöt
- SFS-EN 1168+A1 Betonivalmisosat, ontelolaatat
- SFS 7016 Esijännitetyiltä ontelolaatoilta eri käyttökoh-teissa vaadittavat ominaisuudet ja niille asetetut vaatimustasot
- SFS-EN 1990 Rakenteiden suunnitteluperusteet
- SFS-EN 1991-1 Tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat [34.]

Mitoituksessa käytetyt materiaalitiedot ja oletusarvot:

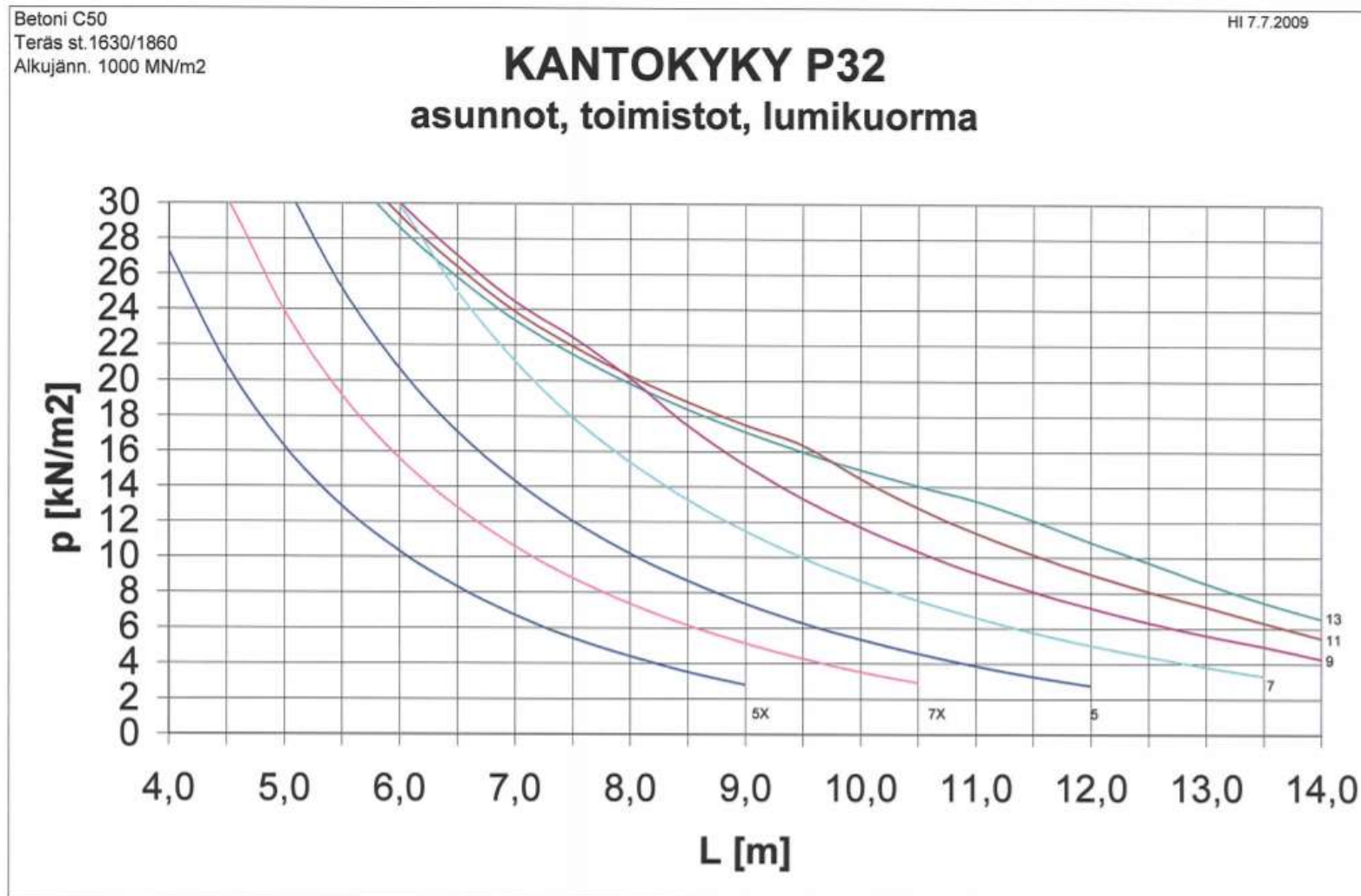
- Betonilujuus C50/60
- Jännepunokset St1640/1860
- Alkujännityksellä 900...1000 MPa
- Palonkestävyys REI60
- Rasitusluokka XC1
- Seuraamusluokka CC2 → $K_{Fi}=1,0$
- Kuormien yhdistelykerroin $\psi_1=0,5$ [34.]

Hiilijalanjäljen laskennassa käytetyt tiedot:

- Ympäristötietokanta RTS EPD
- Ympäristöseloste RTS_28_19 (Parma Consolis, Ontelolaatta)
- Rajaus Elinkaaren vaiheet A1-3

Esivalintataulukot, Ontelolaatat

Taulukko 5. Kantokyky P32 [34].

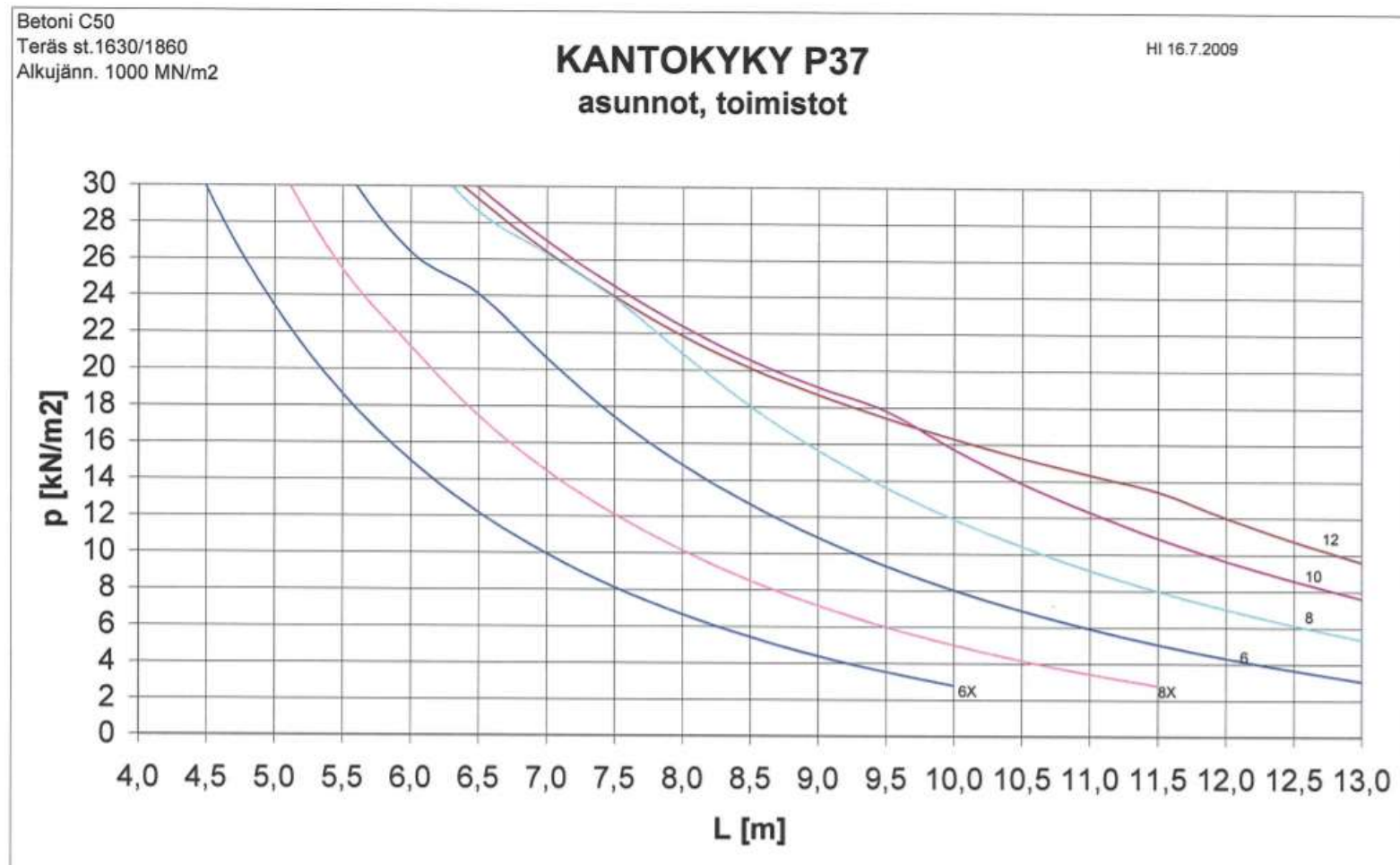


Hiilijalanjälki, P32

50,39 kg CO₂e/m²

Esivalintataulukot, Ontelolaatat

Taulukko 6. Kantokyky P37 [34].

**Hiihijalanjälki, P37**64,6 kg CO₂e/m²

Esivalintataulukot, Teräsbetonilaatat

Taulukot soveltuvat käytettäväksi reiättömien paikalla valettavien teräsbetonilaattojen esimitoitukseen, kun hyötykuormana on Luokka A (asuintilat) tai Luokka B (toimistotilat). Laattojen pysyvän kuorman kantokyky on ilmoitettu ilman osavarmuuskertoimia ja laatan oma paino on vähennetty pois. Jännemitat on rajattu standardissa SFS-EN 1992-1-1 esitetyn taipuman rajoittamisen kautta.

Mitoituksessa käytetyt Eurokoodit ja ohjeet:

- SFS-EN 1990 Rakenteiden suunnitteluperusteet
- SFS-EN 1991-1 Tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat
- SFS-EN 1992-1-1 Betonirakenteiden suunnittelu
- SFS-EN 1992-1-2 Betonirakenteiden palomitoitus
- Suomen kansalliset liitteet Betonirakenteet
Rakenteiden kuormat

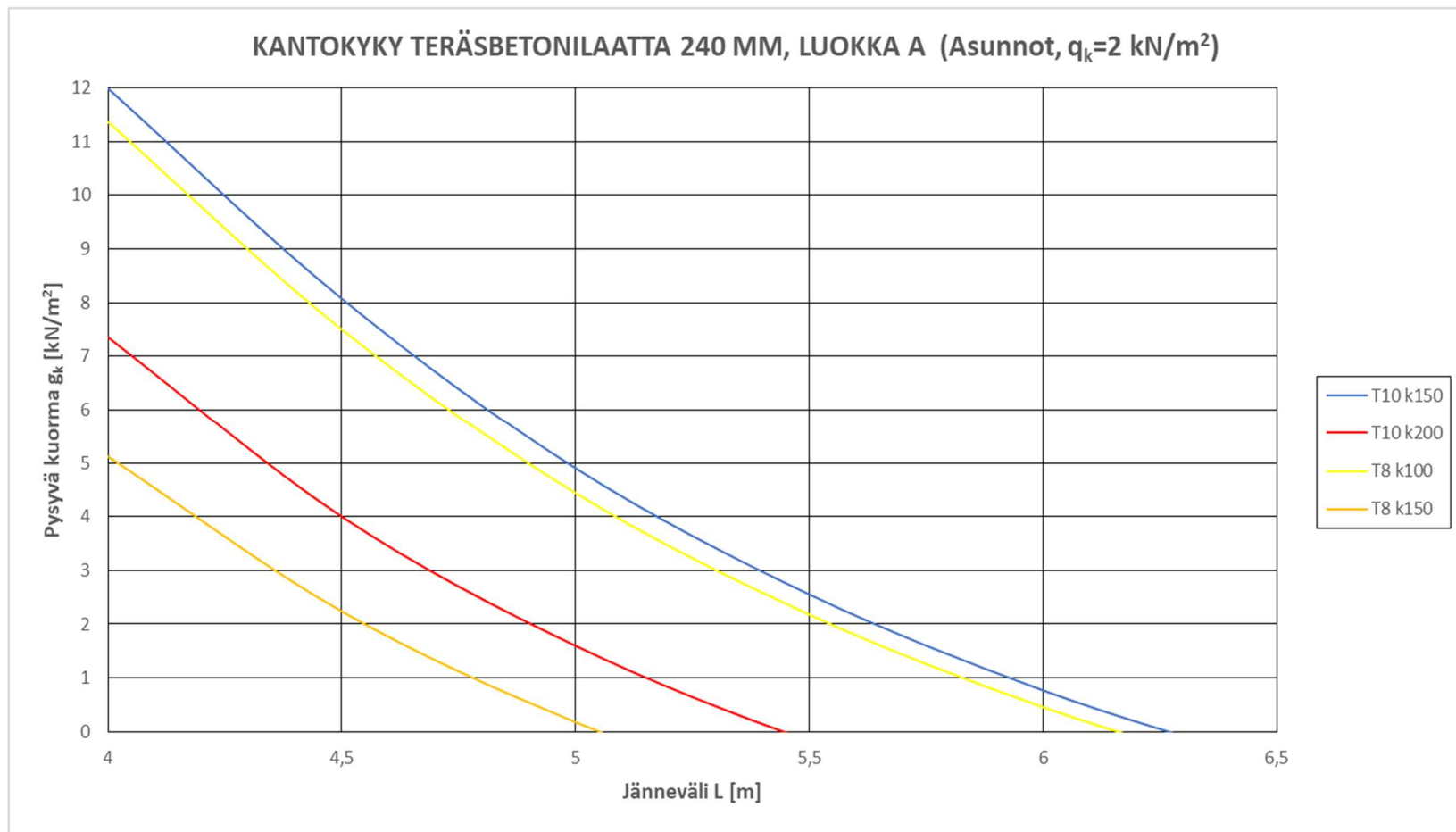
Mitoituksessa käytetyt materiaalitiedot ja oletusarvot:

- Betoni lujuus C30/37
- Teräsluokka B500HW
- Palonkestävyys REI60
- Rasitusluokka XC1
- Seuraamusluokka CC2 → $K_{Fi}=1,0$
- Toleranssiluokka 1
- Toteutusluokka 2
- Materiaalinosavarmuus $\gamma_c=1,5$
 $\gamma_s=1,15$
- Rakennemalli Yksiaukkoinen
Yhteen suuntaan kantava

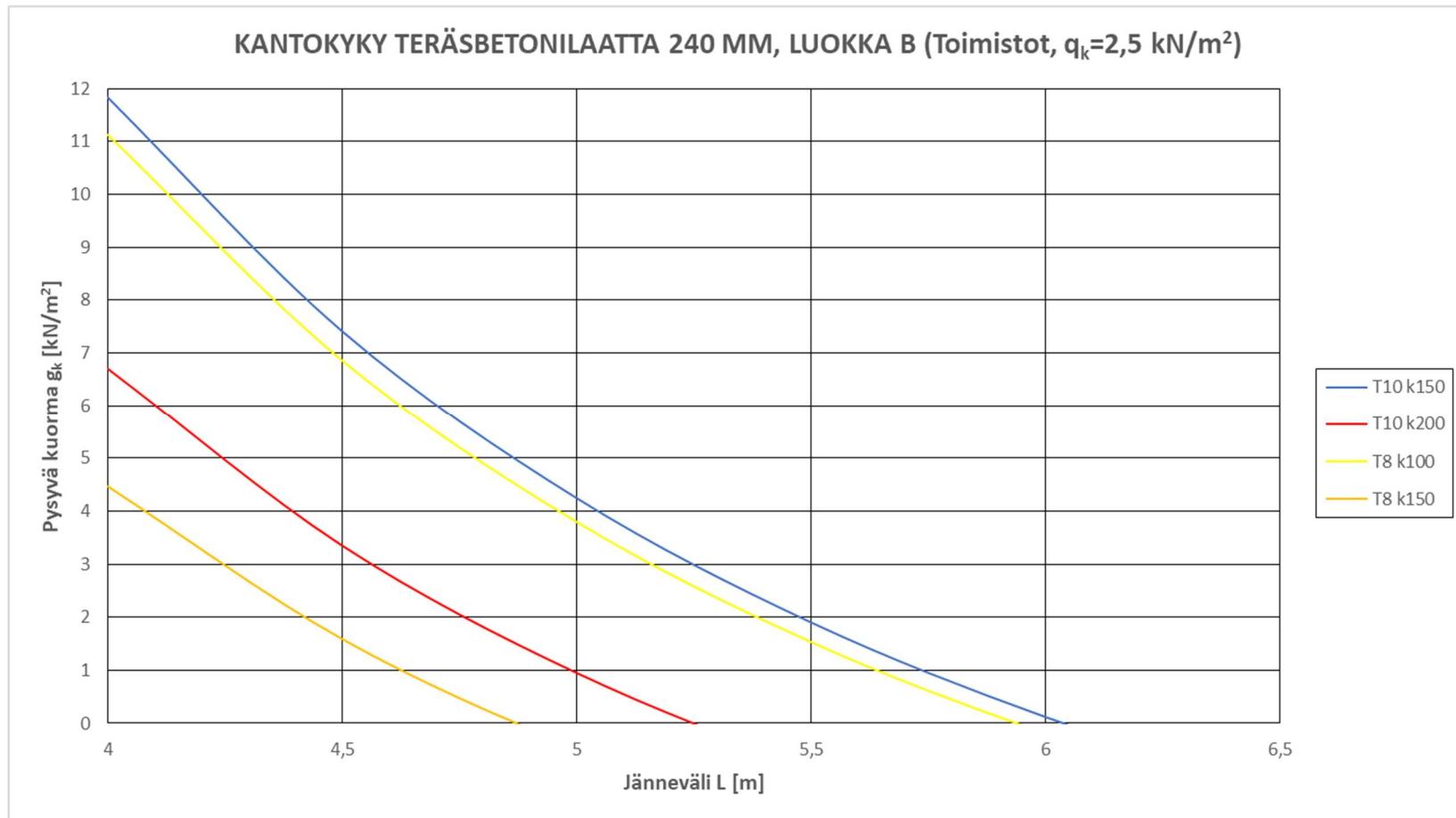
Hiilijalanjäljen laskennassa käytetyt tiedot:

- Ympäristöseloste, betoni Ei saatavilla paikallista ympäristöselostetta
- Ympäristödatan lähde One Click LCA
- Laskentaohjelma One Click LCA
- Ympäristödata Valmisbetoni, C30/37, yleinen, 2018
10 % kierrätettyjä sideaineita
Tiheys: 2400 kg/m³
Vesi/sementtisuhde = 0,55, 300 kg/m³
Portlandsementti ja sideaineet
- Ympäristötietokanta, teräs International EPD System
- Ympäristöseloste, teräs S-P-00307, Celsa steel service, Steel reinforcement products for concrete
- Rajaus Elinkaaren vaiheet A1-3

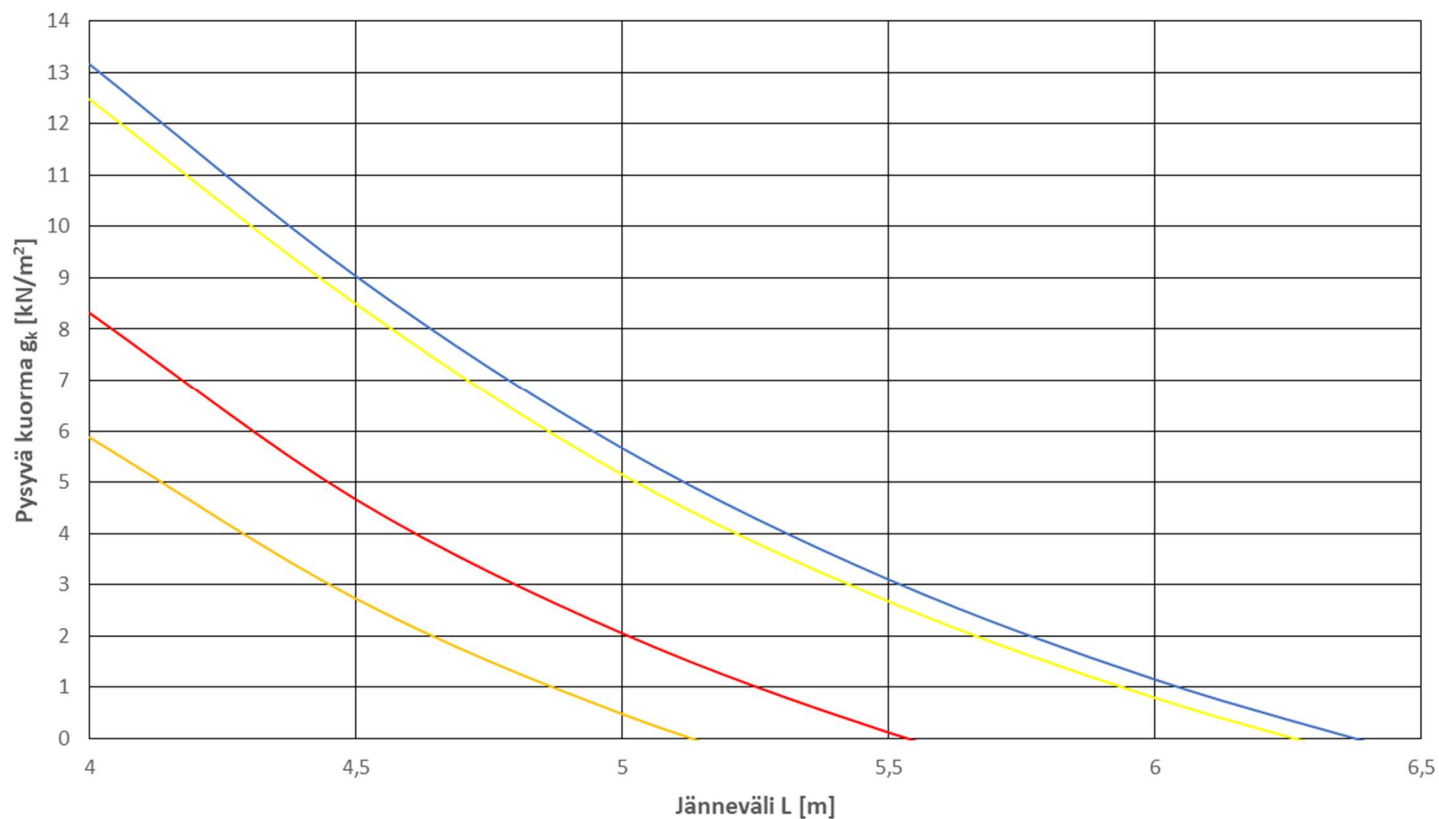
Esivalintataulukot, Teräsbetoni laatat

**Hiilijalanjälki, T8-k150**61,90 kg CO₂e/m²**Hiilijalanjälki, T8-k100**62,50 kg CO₂e/m²**Hiilijalanjälki, T10-k200**62,11 kg CO₂e/m²**Hiilijalanjälki, T10-k150**62,58 kg CO₂e/m²

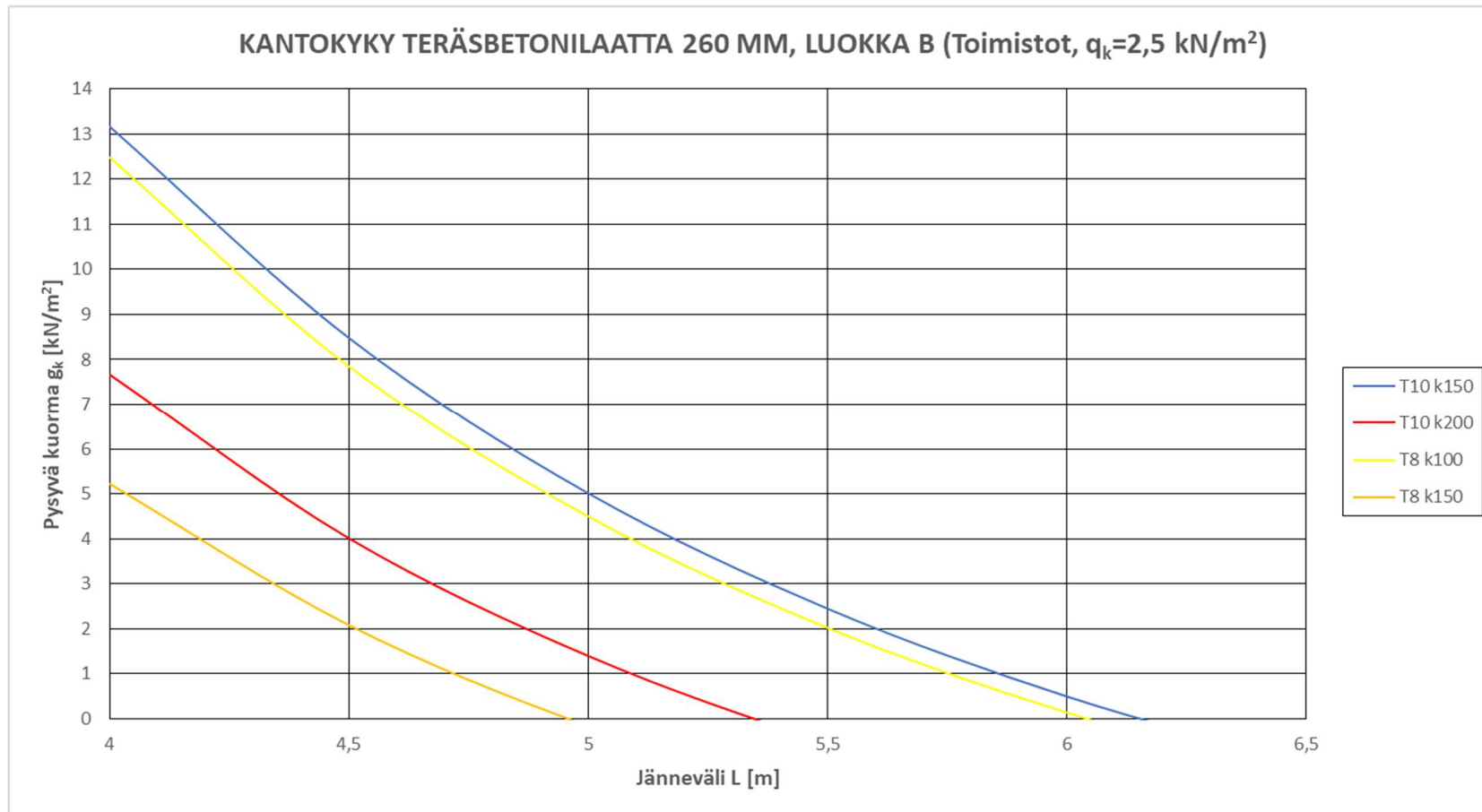
Esivalintataulukot, Teräsbetoni laatat



Esivalintataulukot, Teräsbetoni laatat

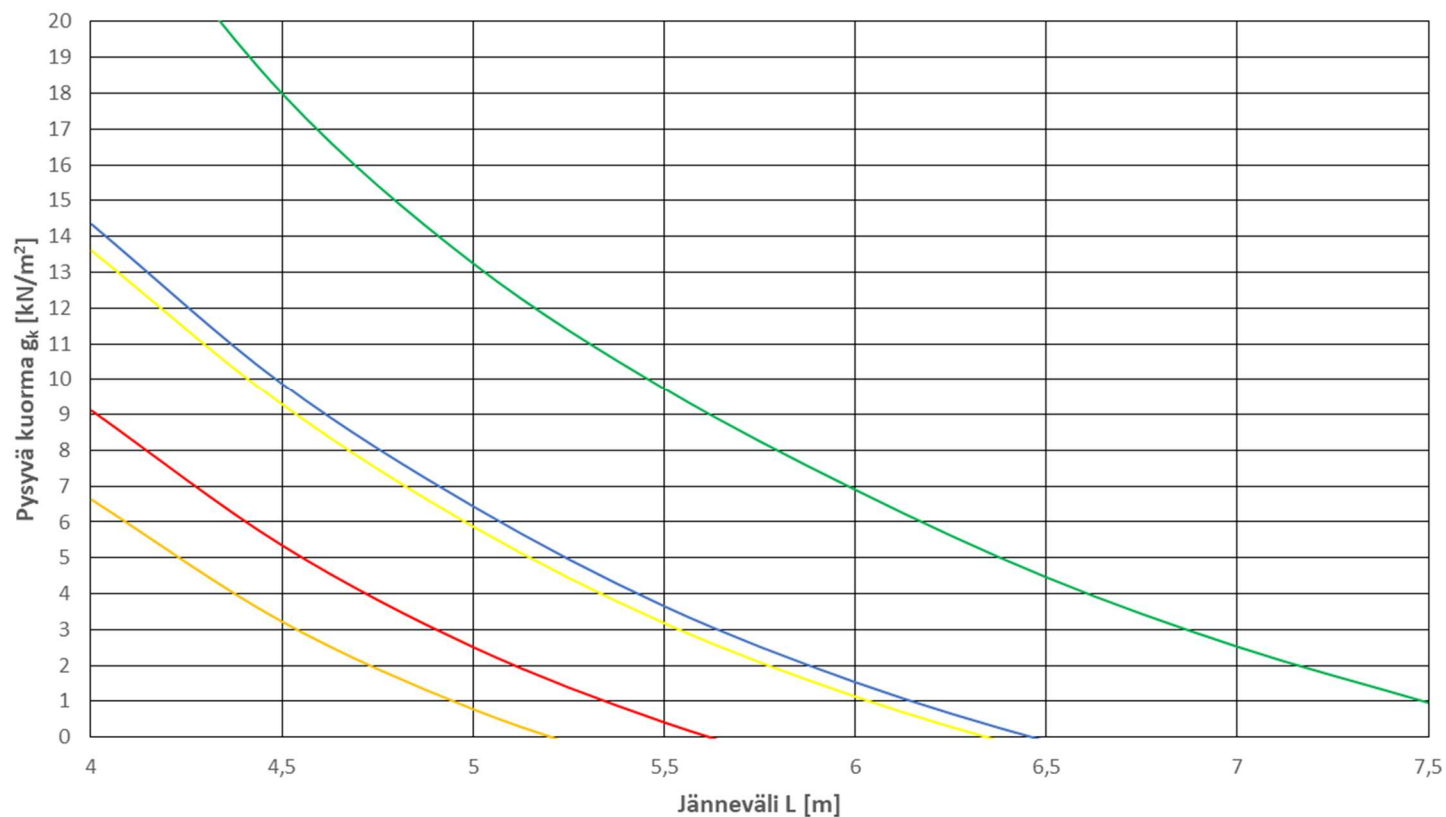
KANTOKYKY TERÄSBETONILAATTA 260 MM, LUOKKA A (Asunnot, $q_k=2 \text{ kN/m}^2$)**Hiilijalanjälki, T8-k150**66,99 kg CO₂e/m²**Hiilijalanjälki, T8-k100**67,59 kg CO₂e/m²**Hiilijalanjälki, T10-k200**67,20 kg CO₂e/m²**Hiilijalanjälki, T10-k150**67,67 kg CO₂e/m²

Esivalintataulukot, Teräsbetonilaatat



Esivalintataulukot, Teräsbetoni laatat

KANTOKYKY TERÄSBETONILAATTA 280 MM, LUOKKA A (Asunnot, $q_k=2\text{kN/m}^2$)



- T10 k150
- T10 k200
- T8 k100
- T8 k150
- T10 k100

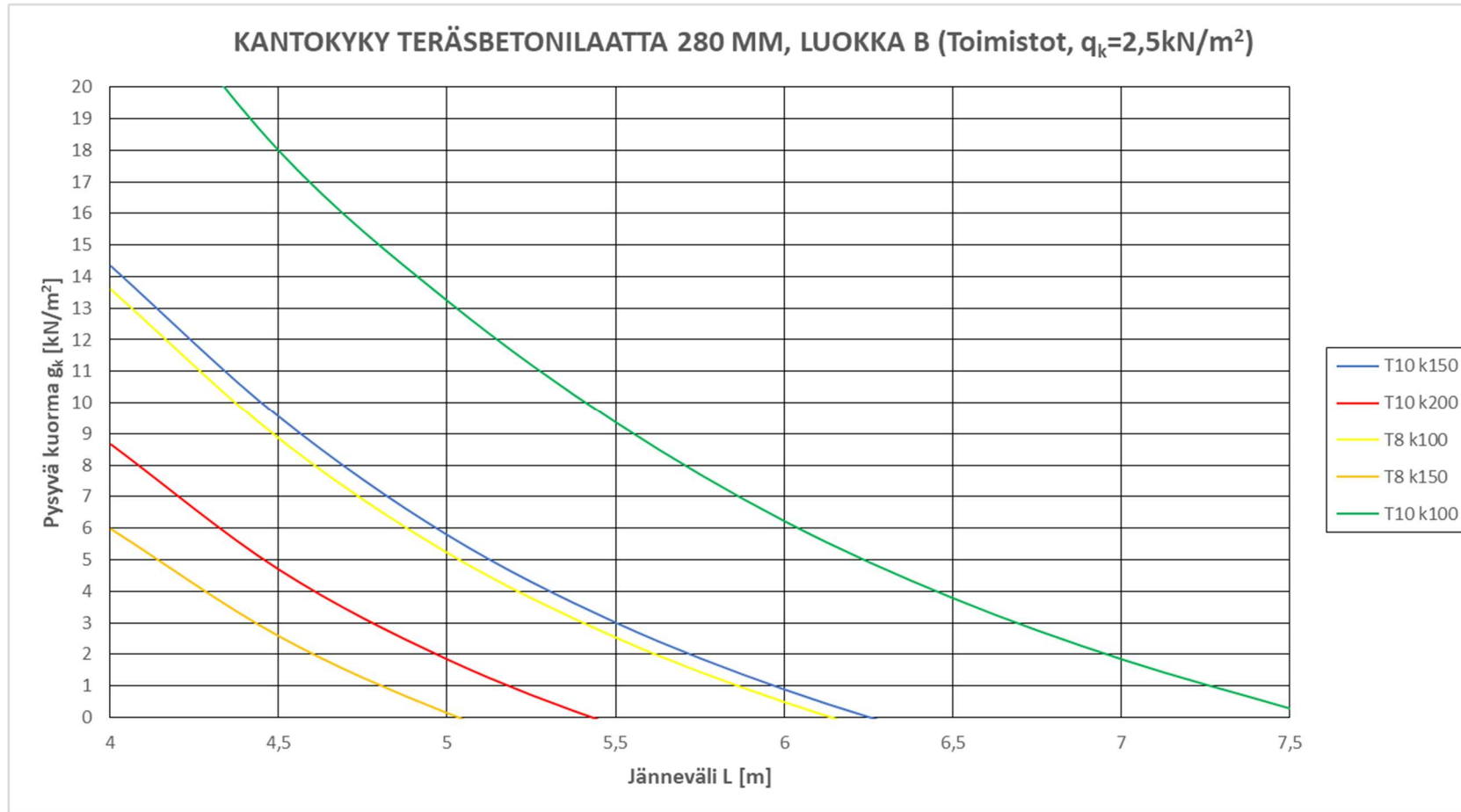
Hiilijalanjälki, T8-k150	
71,99	kg CO ₂ e/m ²

Hiilijalanjälki, T8-k100	
72,58	kg CO ₂ e/m ²

Hiilijalanjälki, T10-k200	
72,19	kg CO ₂ e/m ²

Hiilijalanjälki, T10-k150	
72,66	kg CO ₂ e/m ²

Hiilijalanjälki, T10-k100	
73,59	kg CO ₂ e/m ²



Esivalintataulukko, CLT-laattaelementit

Taulukko soveltuu käytettäväksi reiättömien viisi lamellisien CLT-laattaelementtien esimitoitukseen, kun hyötykuormana on Luokka A (asuintilat) tai Luokka B (toimistotilat). Laattojen pysyvän kuorman kantokyky on ilmoitettu ilman osavarmuuskertoimia ja laatan oma paino on vähennetty pois. Laatan värähtelymitoitus on tehty RIL 205-1-2017 suunnitteluohjeen mukaisesti.

Mitoituksessa käytetyt Eurokoodit ja ohjeet:

- RIL 205-1-2017 Puurakenteiden suunnitteluohje
(Perustuu SFS-EN 1995-standardisarjaan ja Suomen kansallisiin liitteisiin.)
- SFS-EN 1990 Rakenteiden suunnitteluperusteet
- SFS-EN 1991-1 Tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat
- Suomen kansalliset liitteet Puurakenteet
Rakenteiden kuormat

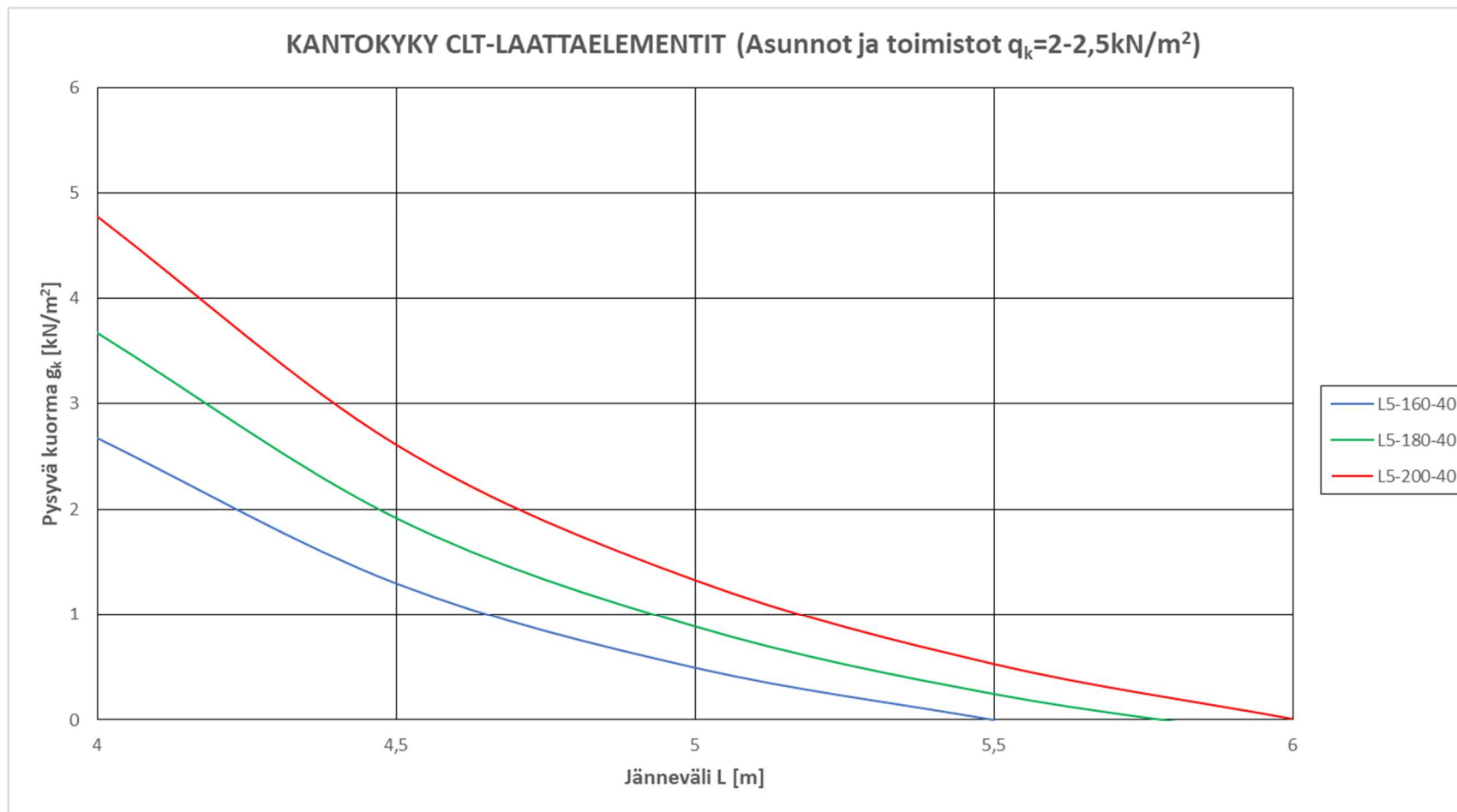
Mitoituksessa käytetyt materiaalitiedot ja oletusarvot:

- Lamellien lujuus C24
- Palokestävyys Tapauskohtainen suunnittelu
- Seuraamusluokka CC2 → $K_{FI}=1,0$
- Kuorman aikaluokka Keskipitkä
- Käyttöluokka KL1, KL2
- Materiaalinosavarmuus $\gamma_M=1,25$
- Rakennemalli Elementti, B=2400 mm
Yksiaukkoinen
Yhteen suuntaan kantava

Hiilijalanjäljen ja -kädenjäljen laskennassa käytetyt tiedot:

- Ympäristötietokanta -
- Ympäristöseloste Stora Enso EPD CLT 2017
- Rajaus Elinkaaren vaiheet A1-3

Esivalintataulukko, CLT-laattaelementit

**L5-160-40****Hiilijalanjälki**9,60 kg CO₂e/m²**Hiilikädenjälki**-116,96 kg CO₂e/m²**L5-180-40****Hiilijalanjälki**10,80 kg CO₂e/m²**Hiilikädenjälki**-131,58 kg CO₂e/m²**L5-200-40****Hiilijalanjälki**12,00 kg CO₂e/m²**Hiilikädenjälki**-146,20 kg CO₂e/m²

Esivalintataulukko, LVL-ripalaatat

Taulukko soveltuu käytettäväksi elementtirakenteisien LVL-ripalaattojen esimitoitukseen, kun hyötykuormana on Luokka A (asuintilat) tai Luokka B (toimistotilat). Laattojen pysyvän kuorman kantokyky on ilmoitettu ilman osavarmuuskertoimia ja laatan oma paino on vähennetty pois. Laatan värähtelymitoitus on tehty RIL 205-1-2017 suunnitteluohjeen mukaisesti.

Mitoituksessa käytetyt Eurokoodit ja ohjeet:

- RIL 205-1-2017 Puurakenteiden suunnitteluohje (Perustuu SFS-EN 1995-standardisarjaan ja Suomen kansallisiin liitteisiin)
- SFS-EN 1990 Rakenteiden suunnitteluperusteet
- SFS-EN 1991-1 Tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat
- Suomen kansalliset liitteet Puurakenteet
Rakenteiden kuormat

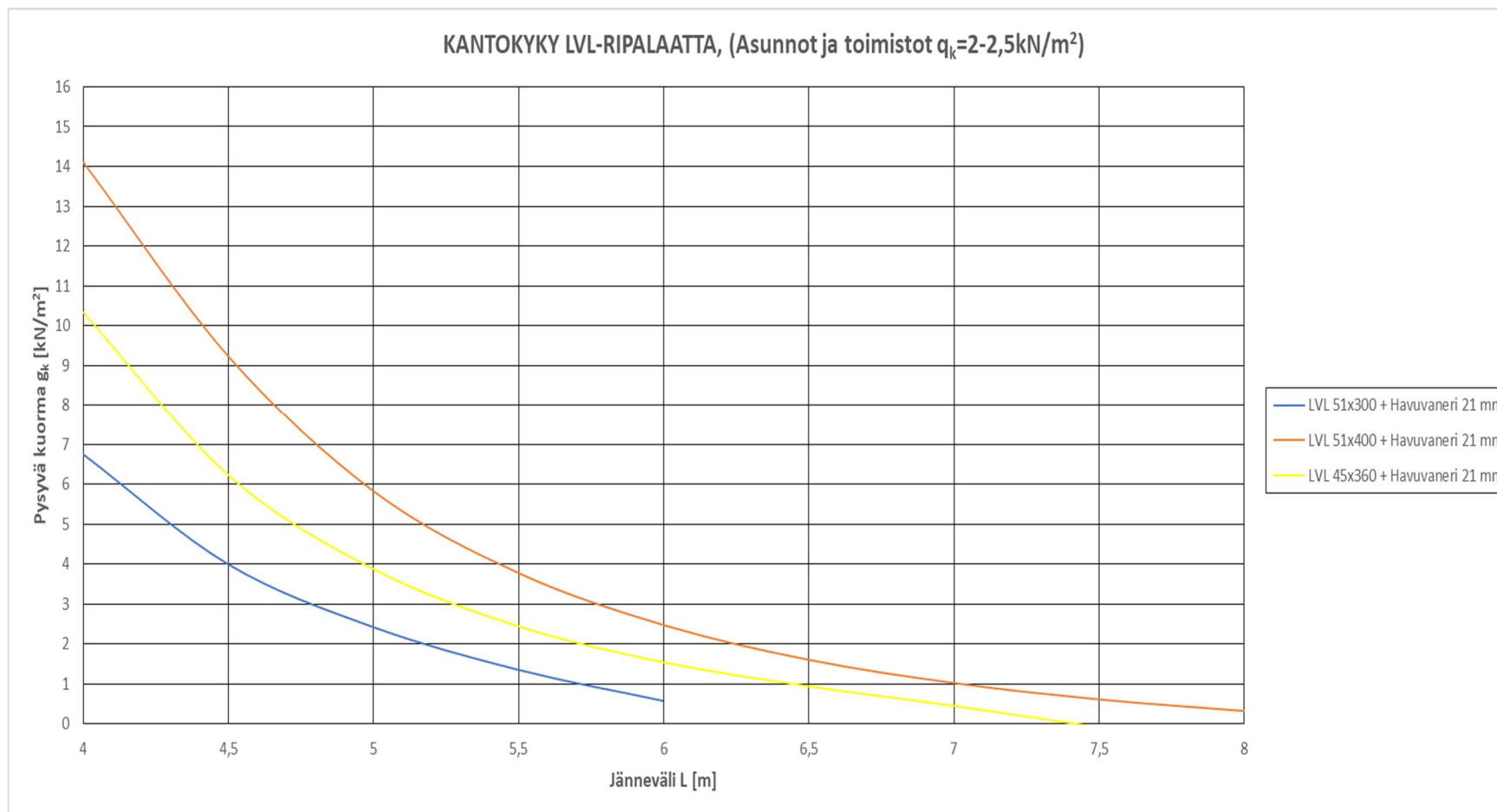
Mitoituksessa käytetyt materiaalitiedot ja oletusarvot:

- Vanerityyppi Havuvaneri 21 mm, käsittelemätön
- Palonkestävyys Tapauskohtainen suunnittelu
- Seuraamusluokka CC2 → $K_{FI}=1,0$
- Kuorman aikaluokka Keskipitkä
- Käyttöluokka KL1, KL2
- Materiaalinosavarmuus $\gamma_M=1,20$
- Palkkijako k/k 400 mm
- Tukipituus ≥ 45 mm
- Jäykistys Kaksi jäykistelinjaa palkiston keskellä k/k 1000 mm
- Rakennemalli Elementti, B=2400 mm
Liittorakenne kansirakenteen kanssa, tehdasliimauksella
Yksiaukkoinen
Yhteen suuntaan kantava

Hiilijalanjäljen ja -kädenjäljen laskennassa käytetyt tiedot:

- Ympäristötietokanta, LVL International EPD System
- Ympäristöseloste, LVL S-P-01730, Stora Enso EPD LVL
- Ympäristötietokanta, vaneri RTS EPD
- Ympäristöseloste, vaneri RTS_21_19, (UPM Plywood Oy, WISA Spruce plywood, uncoated)
- Rajaus Elinkaaren vaiheet A1-3

Esivalintataulukko, LVL-ripalaatat

**LVL 51x300 +
havuvaneri 21 mm****Hiilijalanjälki**25,58 kg CO₂e/m²**Hiilikädenjälki**-64,00 kg CO₂e/m²**LVL 45x360 +
havuvaneri 21 mm****Hiilijalanjälki**25,93 kg CO₂e/m²**Hiilikädenjälki**-65,81 kg CO₂e/m²**LVL 51x400 +
havuvaneri 21 mm****Hiilijalanjälki**27,57 kg CO₂e/m²**Hiilikädenjälki**-74,25 kg CO₂e/m²

Esivalintataulukot, Raudoittamattomat betoniseinät

Taulukot soveltuvat käytettäväksi reiättömien ja raudoittamattomien elementti tai paikalla valu betoniseinien esivalintaan. Seinien kantokyky on ilmoitettu normaallivoima kestävyytensä, kun pystykuorman epäkeskisyys on taulukossa esitetyn suuruinen. Seiniin ei kohdistu tuulikuormaa. [35.]

Mitoituksessa käytetyt Eurokoodit ja ohjeet:

- SFS-EN 1992-1-1 Betonirakenteiden suunnittelu
- SFS-EN 1992-1-2 Betonirakenteiden palomitoitus
- SFS-EN 1990 Rakenteiden suunnitteluperusteet
- SFS-EN 1991-1 Tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat
- Suomen kansalliset liitteet Betonirakenteet
Rakenteiden kuormat [35.]

Mitoituksessa käytetyt materiaalitiedot ja oletusarvo:

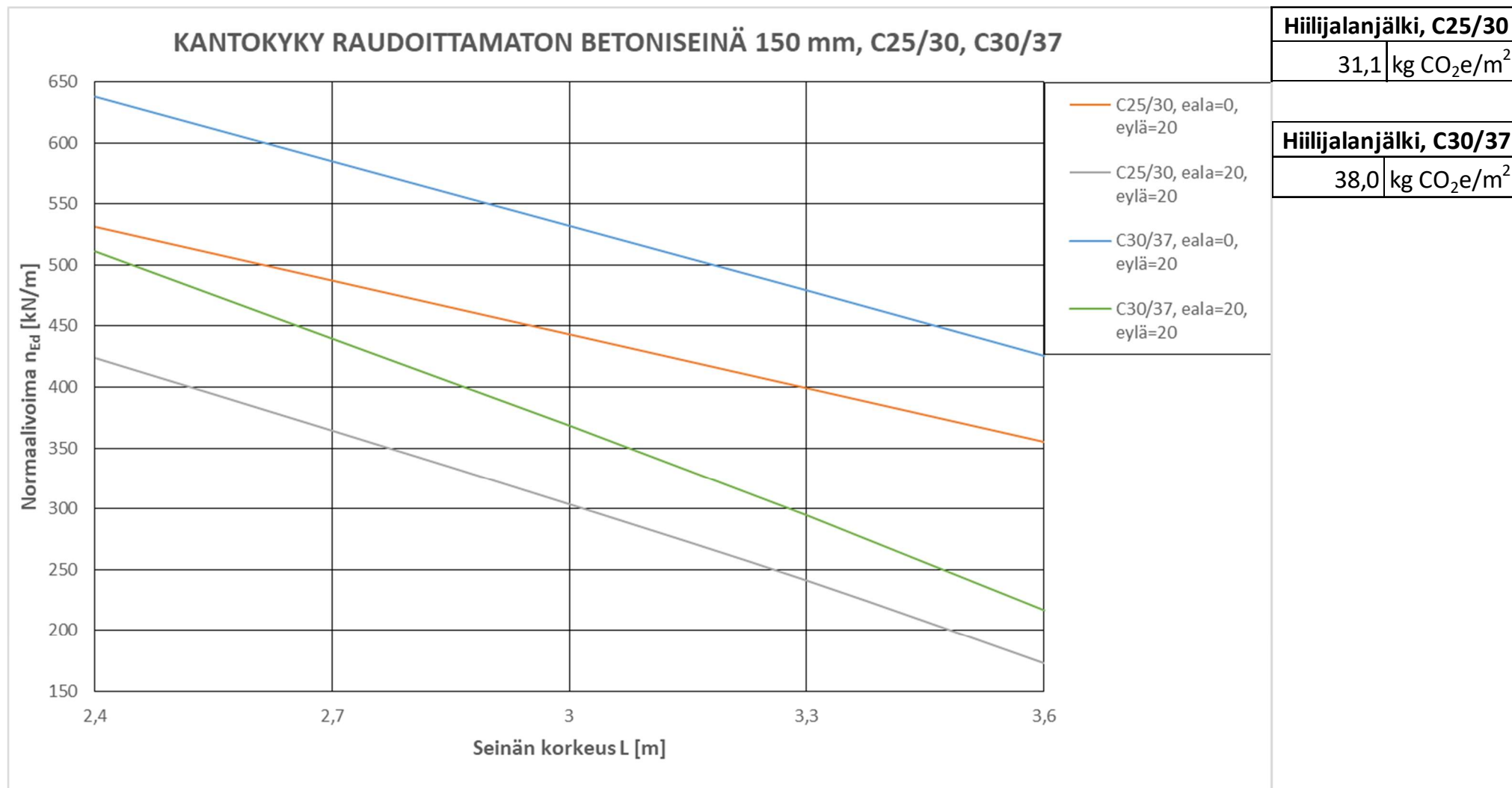
- Betoni lujuus C25/30, C30/37
- Palonkestävyys REI60
- Rasitusluokka XC1
- Toleranssiluokka 1
- Toteutusluokka 2
- Rakennemalli Nivelellisesti ylä- ja alapäästä tuettu
- Nurjahduspituus kerroin $\beta=1,0$
- Materiaalinosavarmuus $\gamma_c=1,5$
- Suojabetoni $C_{nom}=20$ mm [35.]

Hiilijalanjäljen laskennassa käytetyt tiedot:

- Ympäristöseloste Ei saatavilla paikallista ympäristöselostetta
- Ympäristödatan lähde One Click LCA
- Laskentaohjelma One Click LCA
- Ympäristödata, C25/30 Valmisbetoni, yleinen, C25/30, 2018,
10 % kierrätettyjä sideaineita
Tiheys: 2200 kg/m³
Vesi/sementtisuhde = 0,6, 300 kg/m³
Portlandsementti ja sideaineet
- Ympäristödata, C30/37 Valmisbetoni, yleinen, C30/37, 2018,
10 % kierrätettyjä sideaineita
Tiheys: 2400 kg/m³
Vesi/sementtisuhde = 0,55, 300 kg/m³
Portlandsementti ja sideaineet
- Rajaus Elinkaaren vaiheet A1-3

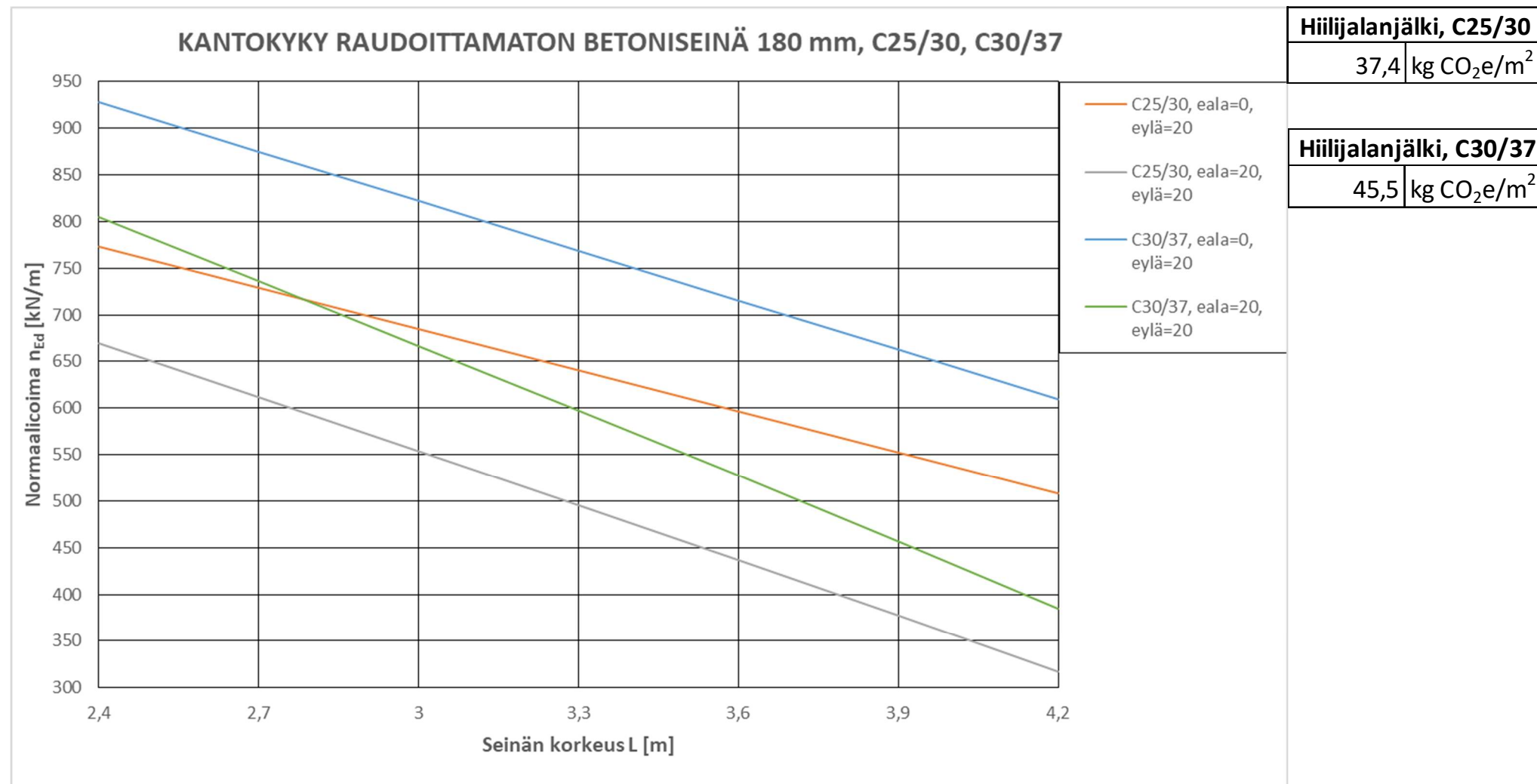
Esivalintataulukot, Raudoittamattomat betoniseinät

Taulukko 7. Kantokyky raudoittamaton betoniseinä 150 mm [35].



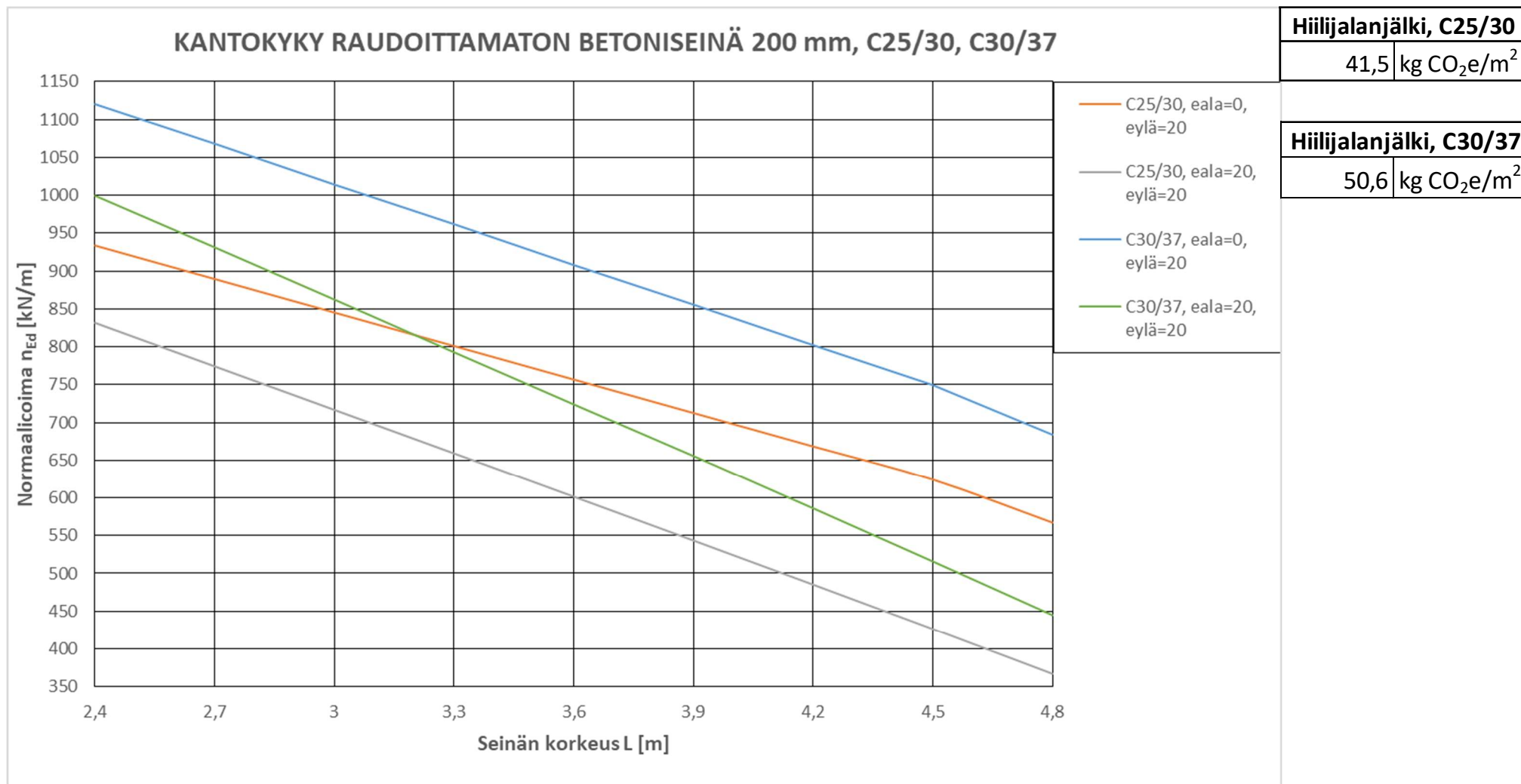
Esivalintataulukot, Raudoittamattomat betoniseinät

Taulukko 8. Kantokyky raudoittamaton betoniseinä 180 mm [35].



Esivalintataulukot, Raudoittamattomat betoniseinät

Taulukko 9. Kantokyky raudoittamaton betoniseinä 200 mm [35].



Esivalintataulukot, Teräsbetoniseinät

Taulukot soveltuvat käytettäväksi reiättömien ja raudoitettujen elementti tai paikalla valu teräsbetoniseiniä esivalintaan. Seiniä kantokyky on ilmoitettu normaalivoima kestävyysnä, kun pystykuorman epäkeskisyys on taulukossa esitetyn suuruinen. Seiniin ei kohdistu tuulikuormaa. Taulukoissa esitetyt raudoitukset sijoitetaan seinän molempiin pintoihin. [36.]

Mitoituksessa käytetyt Eurokoodit ja ohjeet:

- SFS-EN 1992-1-1 Betonirakenteiden suunnittelu
- SFS-EN 1992-1-2 Betonirakenteiden palomitoitus
- SFS-EN 1990 Rakenteiden suunnitteluperusteet
- SFS-EN 1991-1 Tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat
- Suomen kansalliset liitteet Betonirakenteet
Rakenteiden kuormat [36.]

Mitoituksessa käytetyt materiaalitiedot ja oletusarvot:

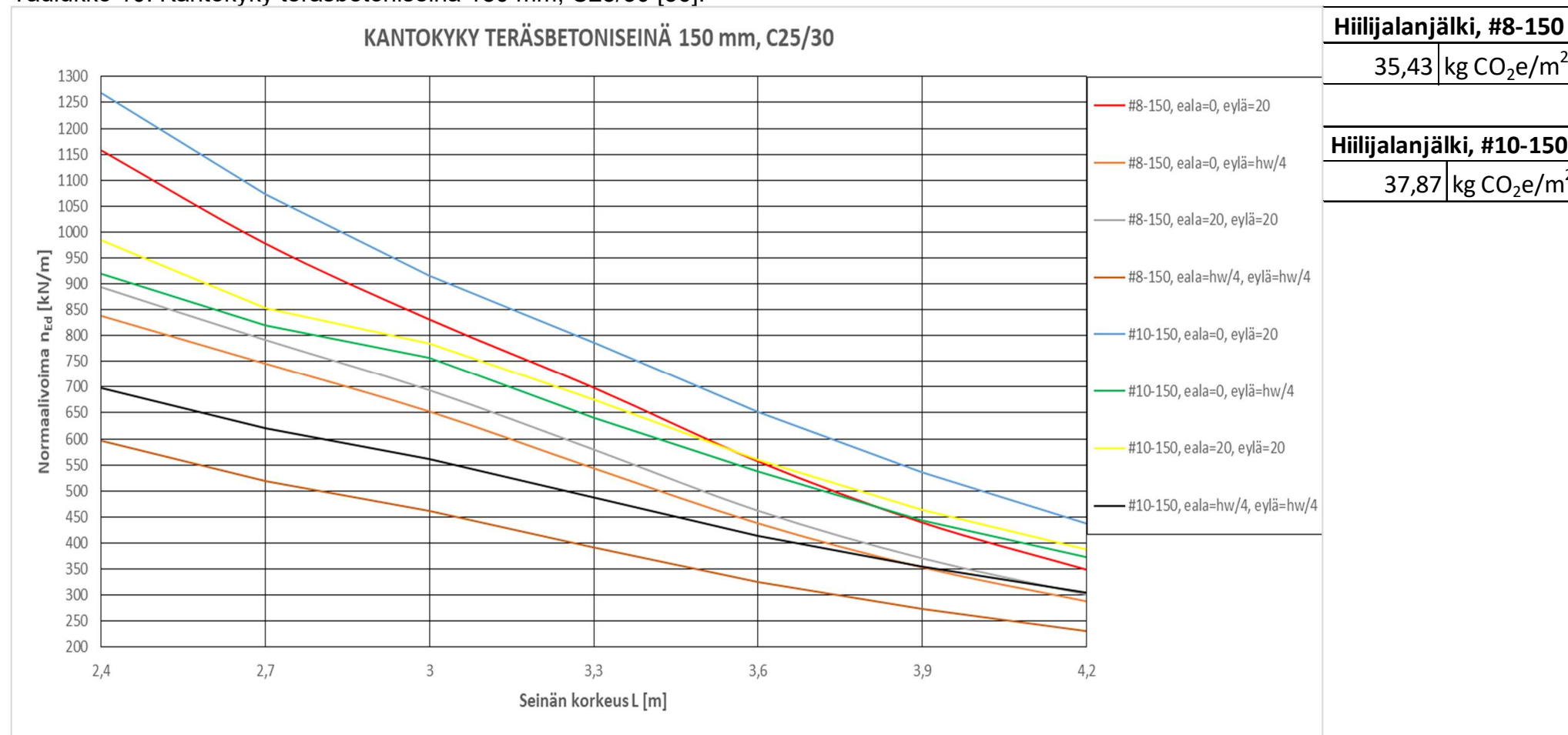
- Betoni lujuus C25/30, C30/37
- Teräsluokka B500HW
- Palonkestävyys REI60
- Rasitusluokka XC1
- Rakennemalli Nivelellisesti ylä- ja alapäästä tuettu
- Nurjahduspituus kerroin $\beta=1,0$
- Materiaalinosavarmuus $\gamma_c=1,5, \gamma_s=1,15$
- Virumaluku $\varphi_{eff}=2,0$ [36.]

Hiilijalanjäljen laskennassa käytetyt tiedot:

- Ympäristöseloste, betoni Ei saatavilla paikallista ympäristöselostetta
- Ympäristödatan lähde One Click LCA
- Laskentaohjelma One Click LCA
- Ympäristödata, C25/30 Valmisbetoni, yleinen, C25/30, 2018
10 % kierrätettyjä sideaineita
Tiheys: 2200 kg/m³
Vesi/sementtisuhde = 0,6, 300 kg/m³
Portlandsementti ja sideaineet
- Ympäristödata, C30/37 Valmisbetoni, yleinen, C30/37, 2018
10 % kierrätettyjä sideaineita
Tiheys: 2400 kg/m³
Vesi/sementtisuhde = 0,55, 300 kg/m³
Portlandsementti ja sideaineet
- Ympäristötietokanta, teräs International EPD System
- Ympäristöseloste, teräs S-P-00307, Celsa steel service, Steel reinforcement products for concrete
- Rajaus Elinkaaren vaiheet A1-3

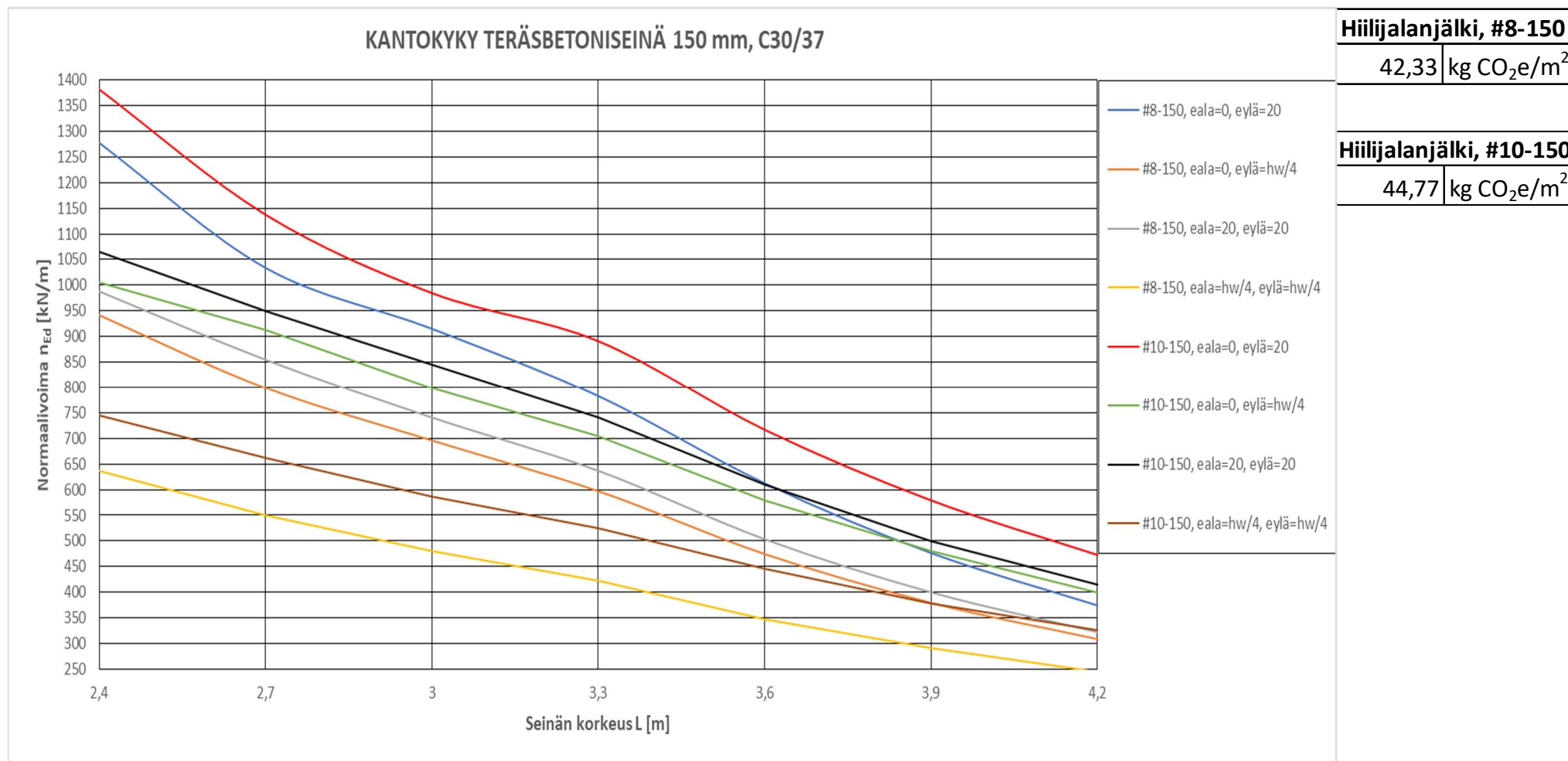
Esivalintataulukot, Teräsbetoneseinät

Taulukko 10. Kantokyky teräsbetoneseinä 150 mm, C25/30 [36].

**Hiilijalanjälki, #8-150**35,43 kg CO₂e/m²**Hiilijalanjälki, #10-150**37,87 kg CO₂e/m²

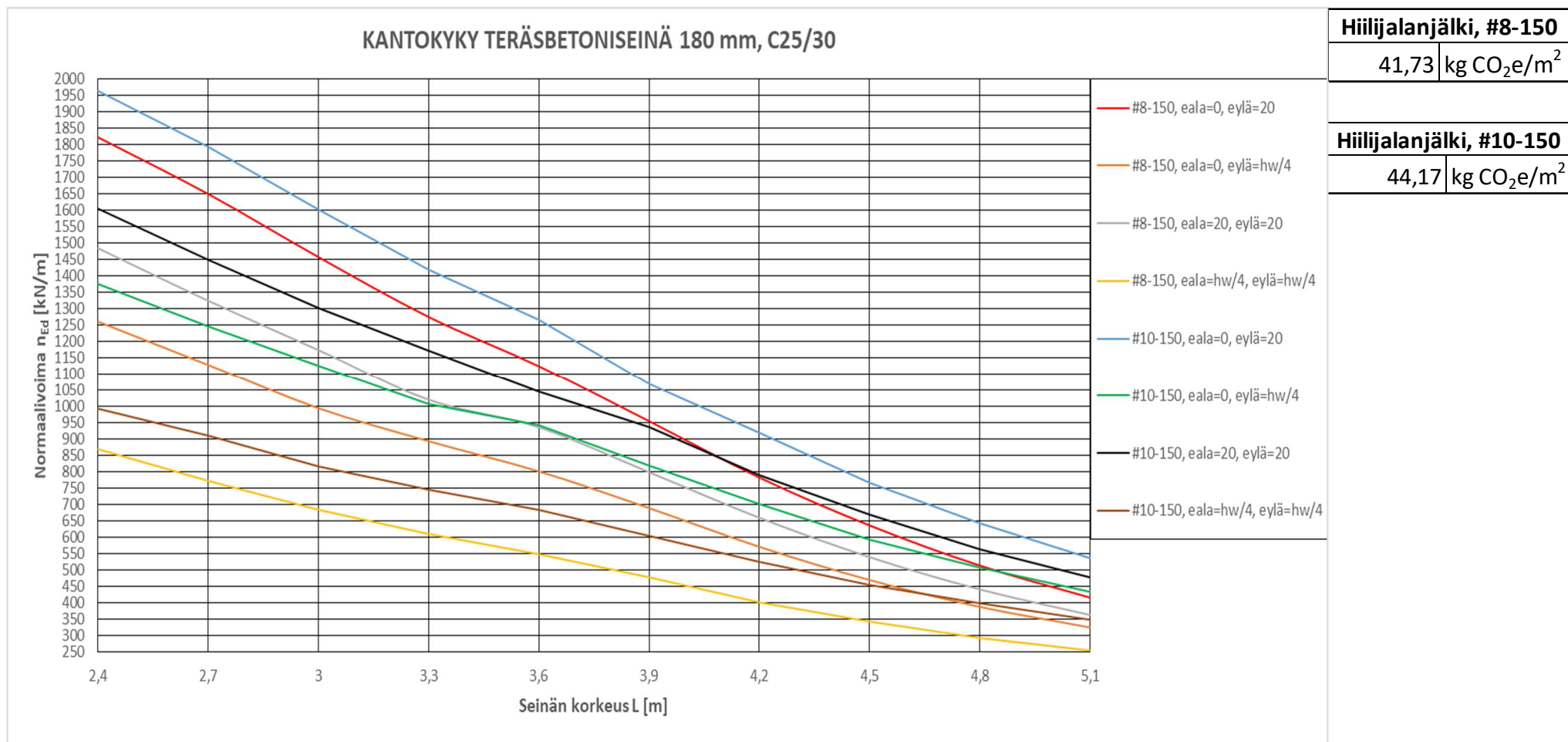
Esivalintataulukot, Teräsbetoneinät

Taulukko 11. Kantokyky teräsbetoneinä 150 mm, C30/37 [36].



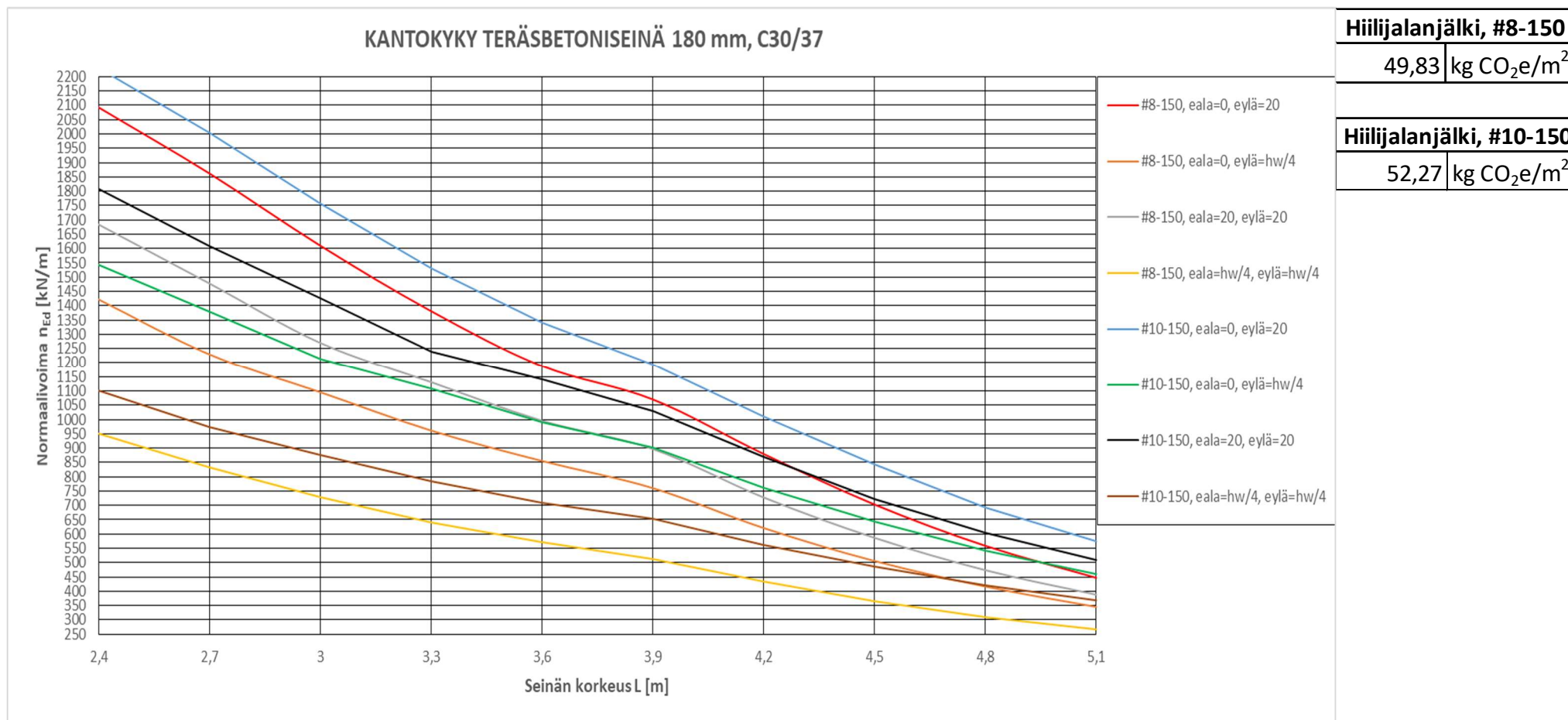
Esivalintataulukot, Teräsbetoneinät

Taulukko 12. Kantokyky teräsbetoneinä 180 mm, C25/30 [36].



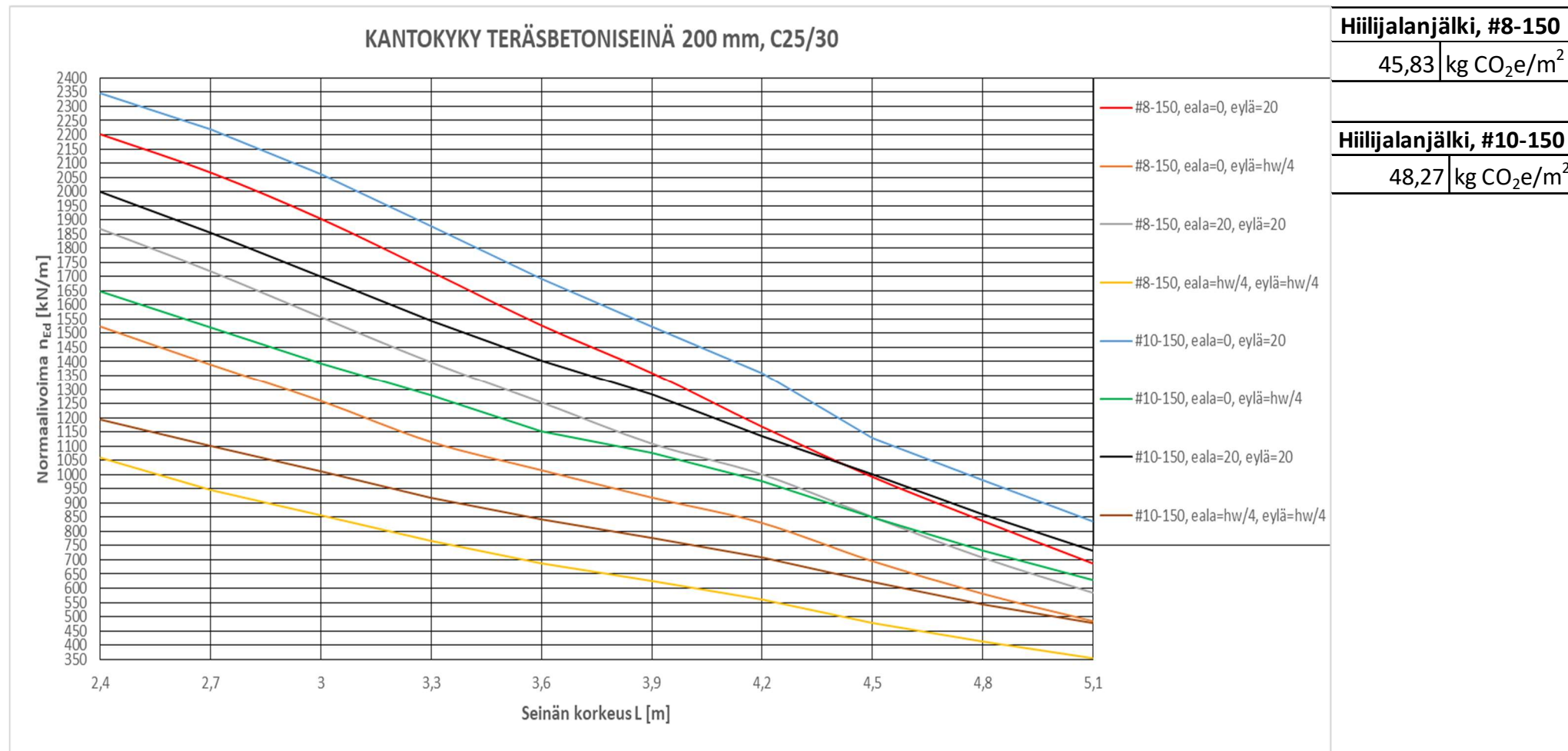
Esivalintataulukot, Teräsbetoneinät

Taulukko 13. Kantokyky teräsbetoneinä 180 mm, C30/37 [36].



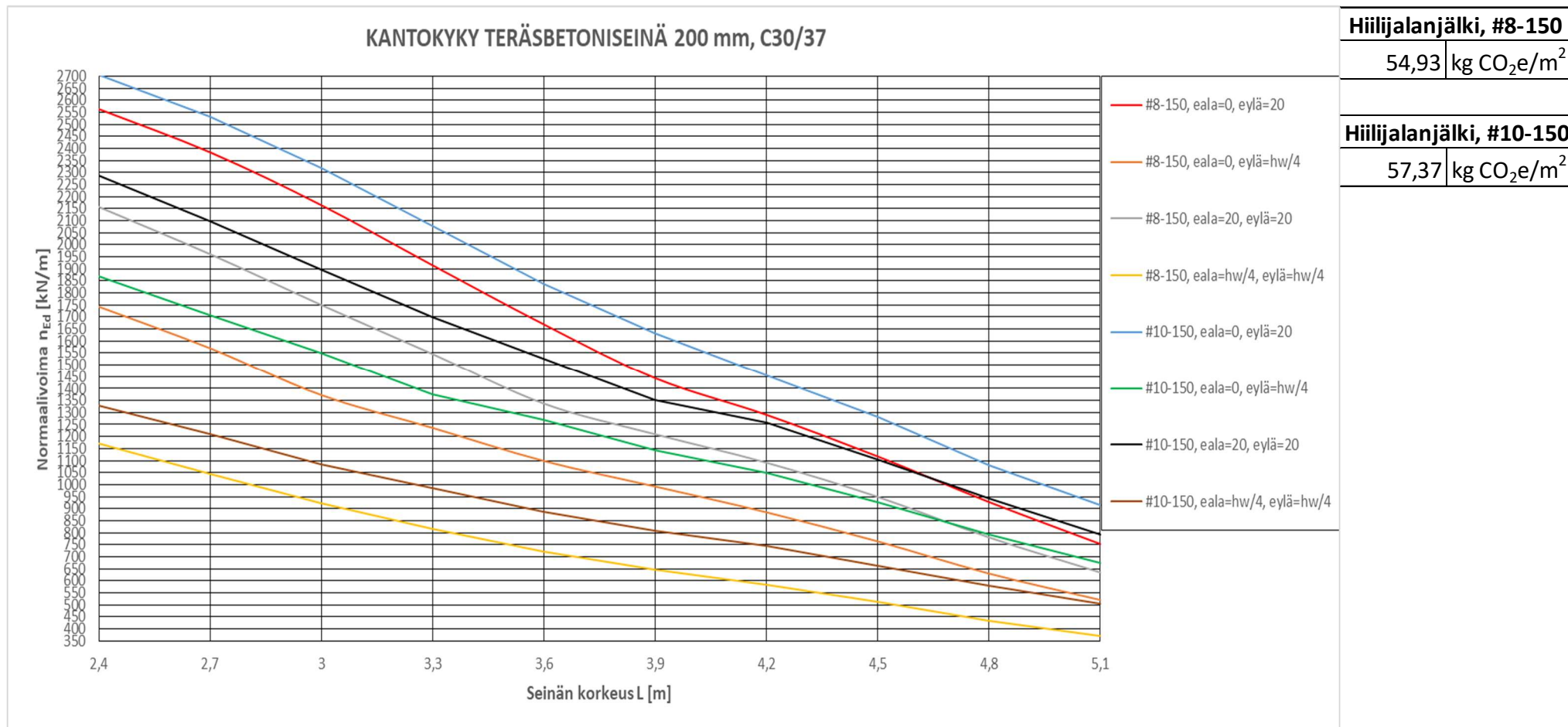
Esivalintataulukot, Teräsbetoneseinät

Taulukko 14. Kantokyky teräsbetoneseinä 200 mm, C25/30 [36].



Esivalintataulukot, Teräsbetoneinät

Taulukko 15. Kantokyky teräsbetoneinä 200 mm, C30/37 [36].



Esivalintataulukot, CLT-seinäelementit

Taulukot soveltuvat käytettäväksi reiättömien kolme ja viisi lamellisen CLT-seinäelementtien esivalintaan. Seinien kantokyky on ilmoitettu normaalivoima kestävyytenä, kun pystykuorman epäkeskisyys on taulukossa esitetyn suuruinen. Kantokyky on esitetty kolmelle eri pystykuorman epäkeskisyydelle 20, 40 ja 60 mm. Seiniin ei kohdistu tuulikuormaa. Rakenteiden hiilijalanjäljet ja -kädenjäljet on esitetty ensimmäisen esivalintataulukon yhteydessä.

Mitoituksessa käytetyt Eurokoodit ja ohjeet:

- RIL 205-1-2017 Puurakenteiden suunnitteluohje
(Perustuu SFS-EN 1995-standardisarjaan ja Suomen kansallisiin liitteisiin.)
- SFS-EN 1990 Rakenteiden suunnitteluperusteet
- SFS-EN 1991-1 Tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat
- Suomen kansalliset liitteet Puurakenteet
Rakenteiden kuormat

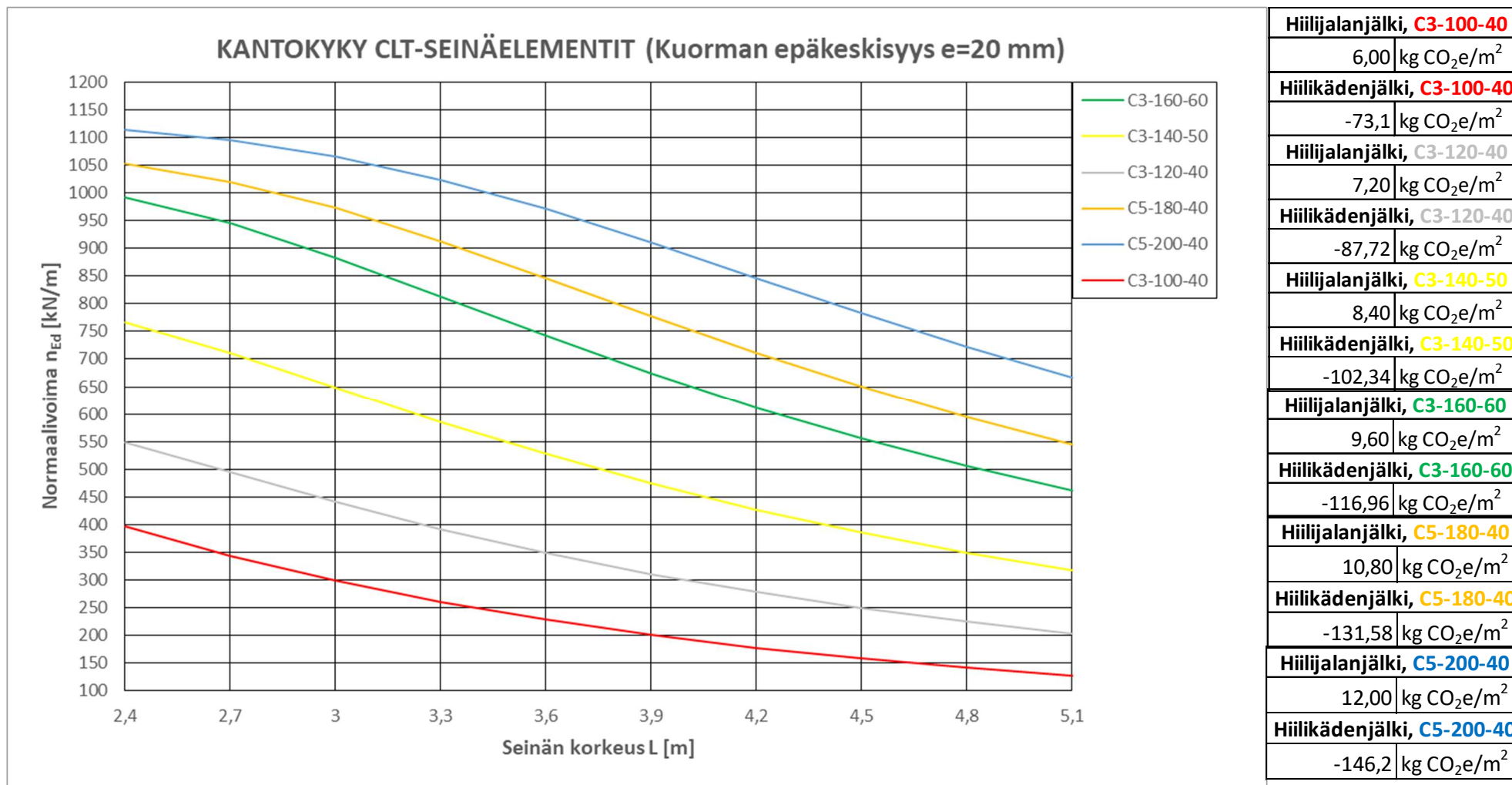
Mitoituksessa käytetyt materiaalitiedot ja oletusarvot:

- Lamellin lujuus C24
- Palonkestävyys Tapauskohtainen suunnittelu
- Käyttöluokka KL1, KL2
- Kuorman aikaluokka Keskipitkä
- Materiaalinosavarmuus $\gamma_M=1,25$
- Rakennemalli Nivelellisesti ylä- ja alapäästä tuettu
- Nurjahduspituus kerroin $\beta=1,0$

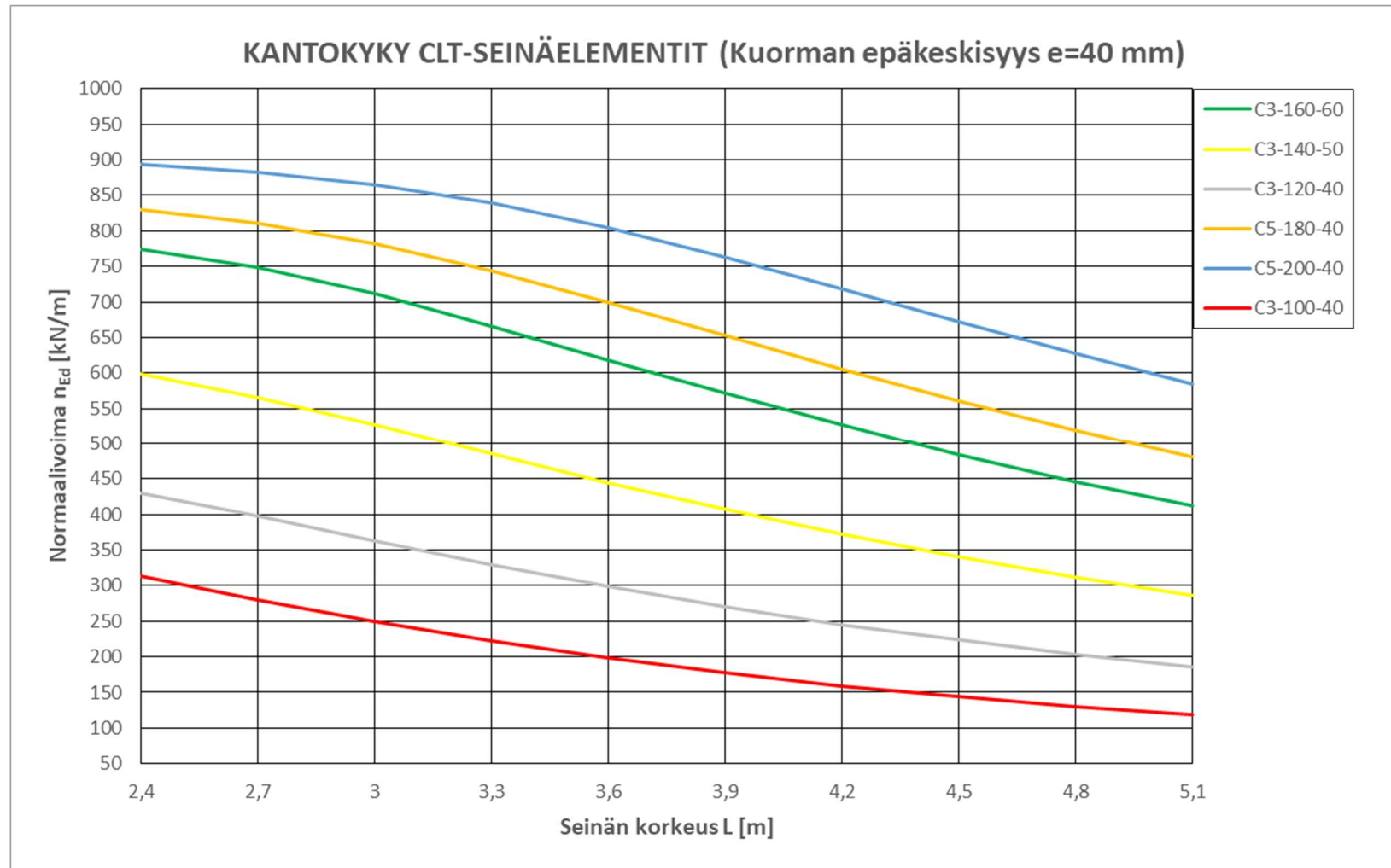
Hiilijalanjäljen ja -kädenjäljen laskennassa käytetyt tiedot:

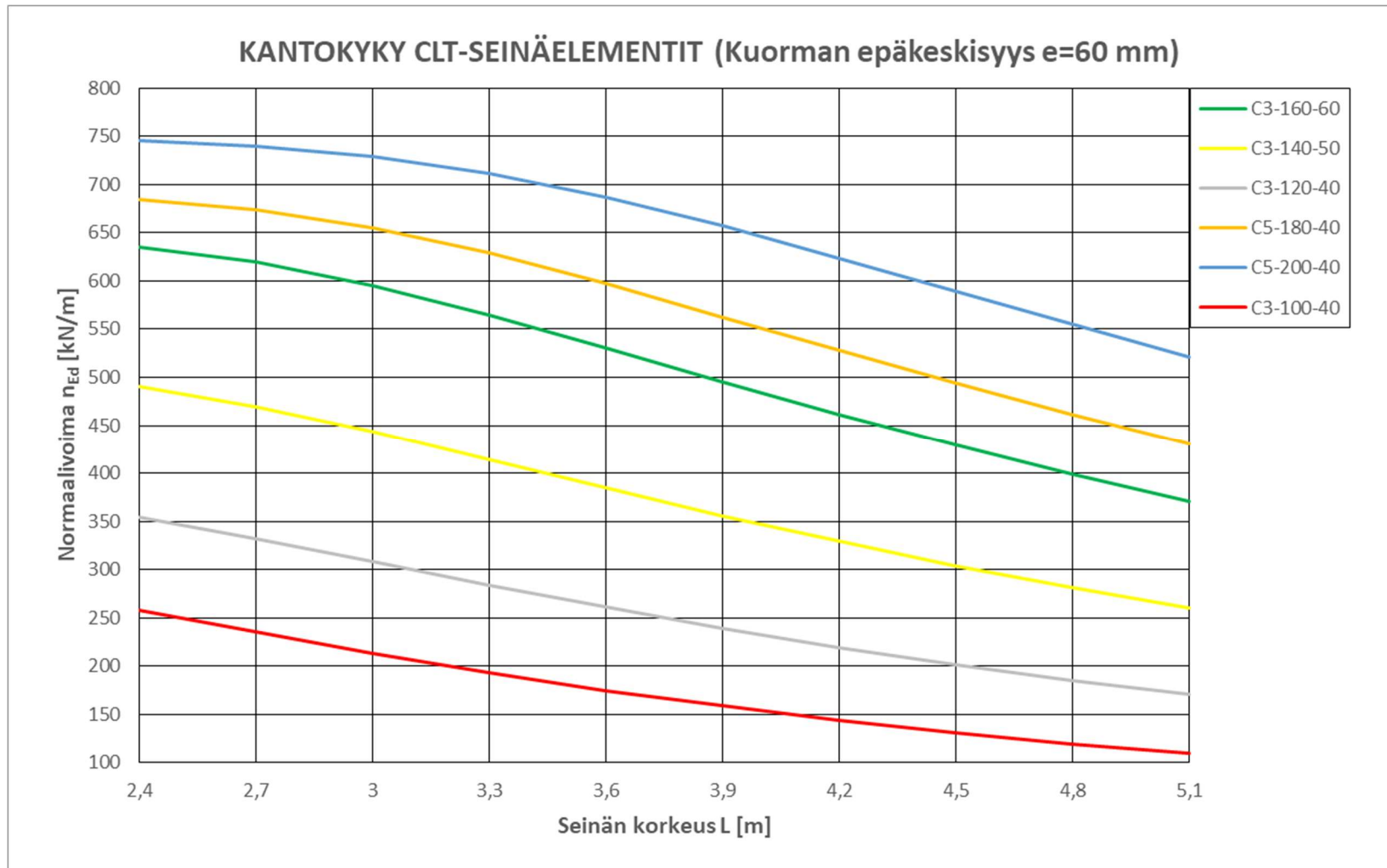
- Ympäristötietokanta -
- Ympäristöseloste Stora Enso EPD CLT 2017
- Rajaus Elinkaaren vaiheet A1-3

Esivalintataulukot, CLT-seinäelementit



Esivalintataulukot, CLT-seinäelementit





Esivalintataulukot, Teräsbetonipilarit

Taulukot soveltuvat käytettäväksi teräsbetonisen neliöpilarien esivalintaan, kun taivutus vaikuttaa yhden akselin suhteen. Pilareiden kapasiteetit on ilmoitettu normaalivoiman ja momentin yhteisvaikutuskäyrinä. Pilareiden vaihtoehtoiset raudoitukset on esitetty taulukoissa. [37.]

Mitoituksessa käytetyt Eurokoodit ja ohjeet:

- SFS-EN 1992-1-1 Betonirakenteiden suunnittelu
- SFS-EN 1992-1-2 Betonirakenteiden palomitoitus
- SFS-EN 1990 Rakenteiden suunnitteluperusteet
- SFS-EN 1991-1 Tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat
- Suomen kansalliset liitteet Betonirakenteet
Rakenteiden kuormat [37.]

Mitoituksessa käytetyt materiaalitiedot ja oletusarvot:

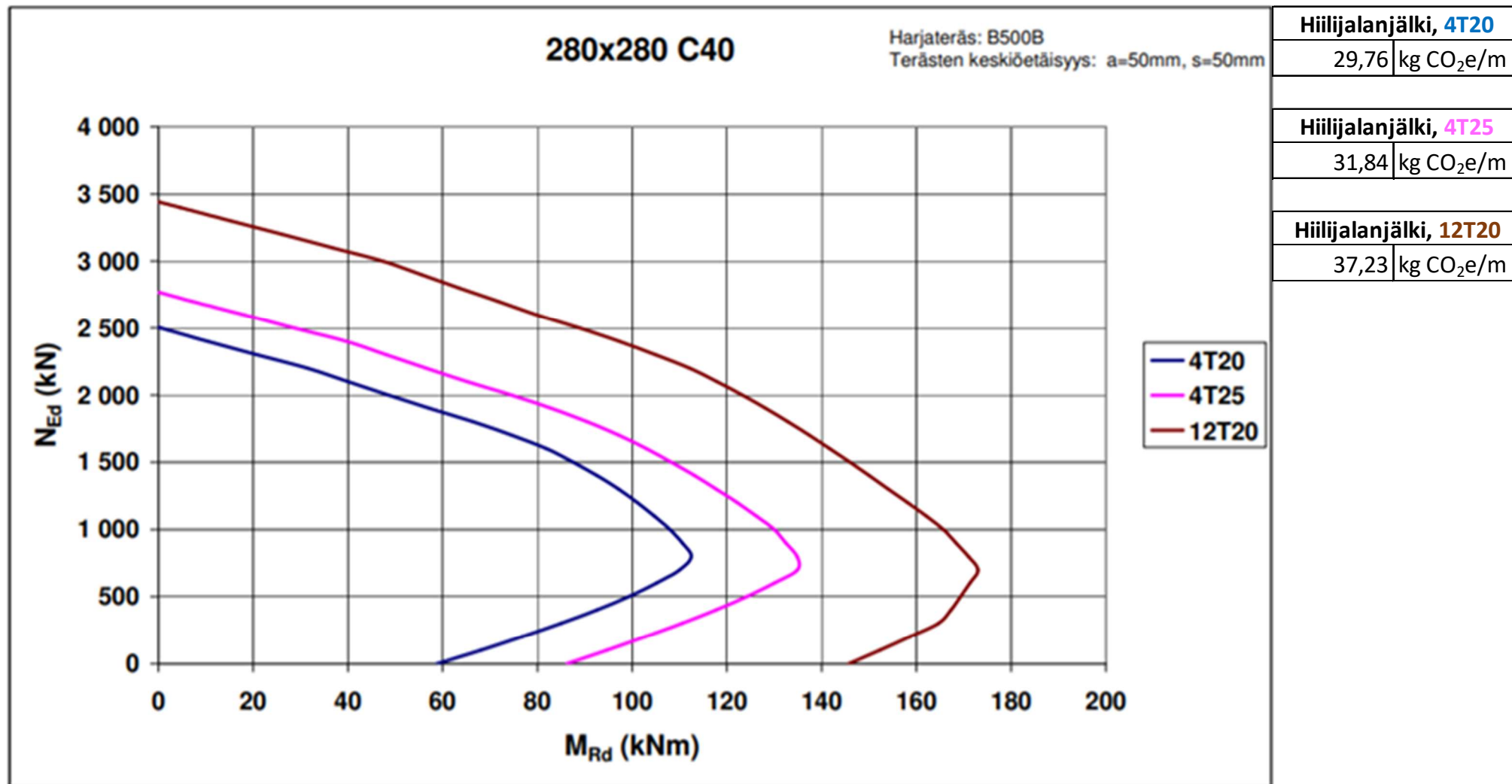
- Betonin lujuus C40/50
- Teräsluokka B500HW
- Palonkestävyys R60
- Rasitusluokka XC1...XC4
- Terästen keskiöetäisyys a=50 mm, s=50 mm [37.]

Hiilijalanjäljen laskennassa käytetyt tiedot:

- Ympäristöseloste, betoni Ei saatavilla paikallista ympäristöselostetta
- Ympäristödatan lähde One Click LCA
- Laskentaohjelma One Click LCA
- Ympäristödata, betoni Valmisbetoni, yleinen, C40/50, 2018
10 % kierrätettyjä sideaineita
Tiheys: 2400 kg/m³
Vesi/sementtisuhde = 0,4, 400 kg/m³
Portlandsementti ja sideaineet
- Ympäristötietokanta, teräs International EPD System
- Ympäristöseloste, teräs S-P-00307, Steel reinforcement products for concrete EPD, Celsa steel service,
- Rajaus Elinkaaren vaiheet A1-3

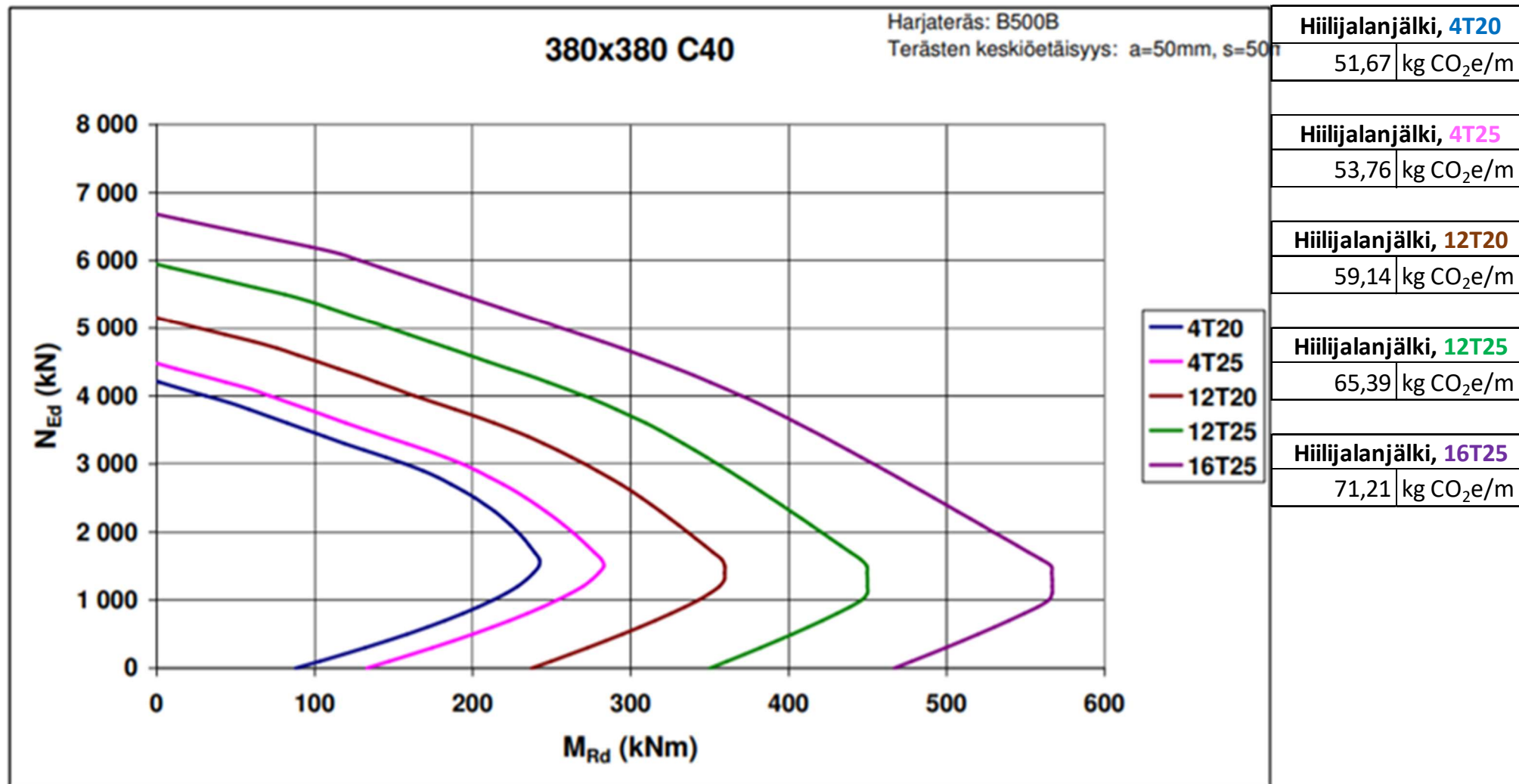
Esivalintataulukot, Teräsbetonipilarit

Taulukko 16. 280x280 teräsbetonipilarin kapasiteetti [37].



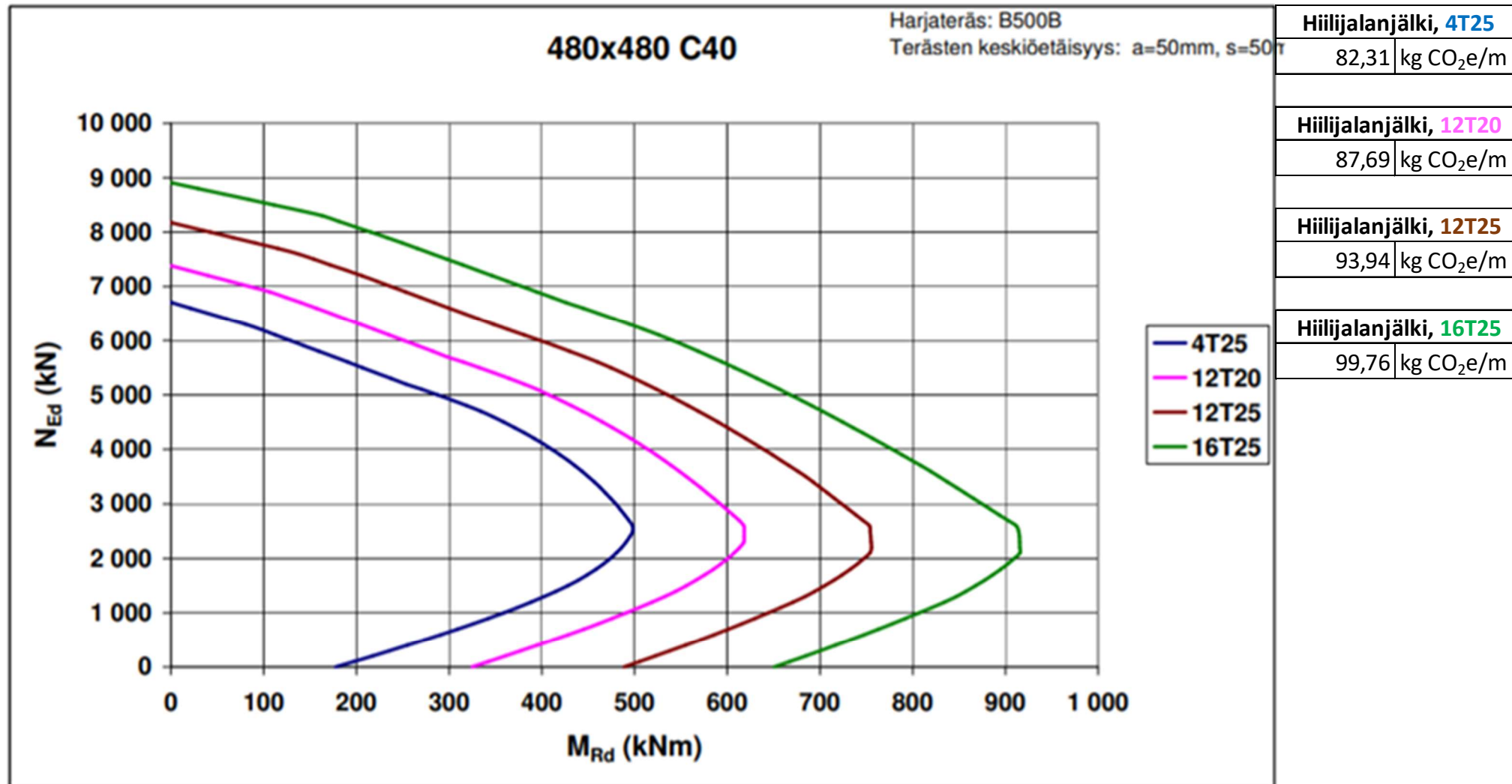
Esivalintataulukot, Teräsbetonipilarit

Taulukko 17. 380x380 teräsbetonipilarin kapasiteetti [37].



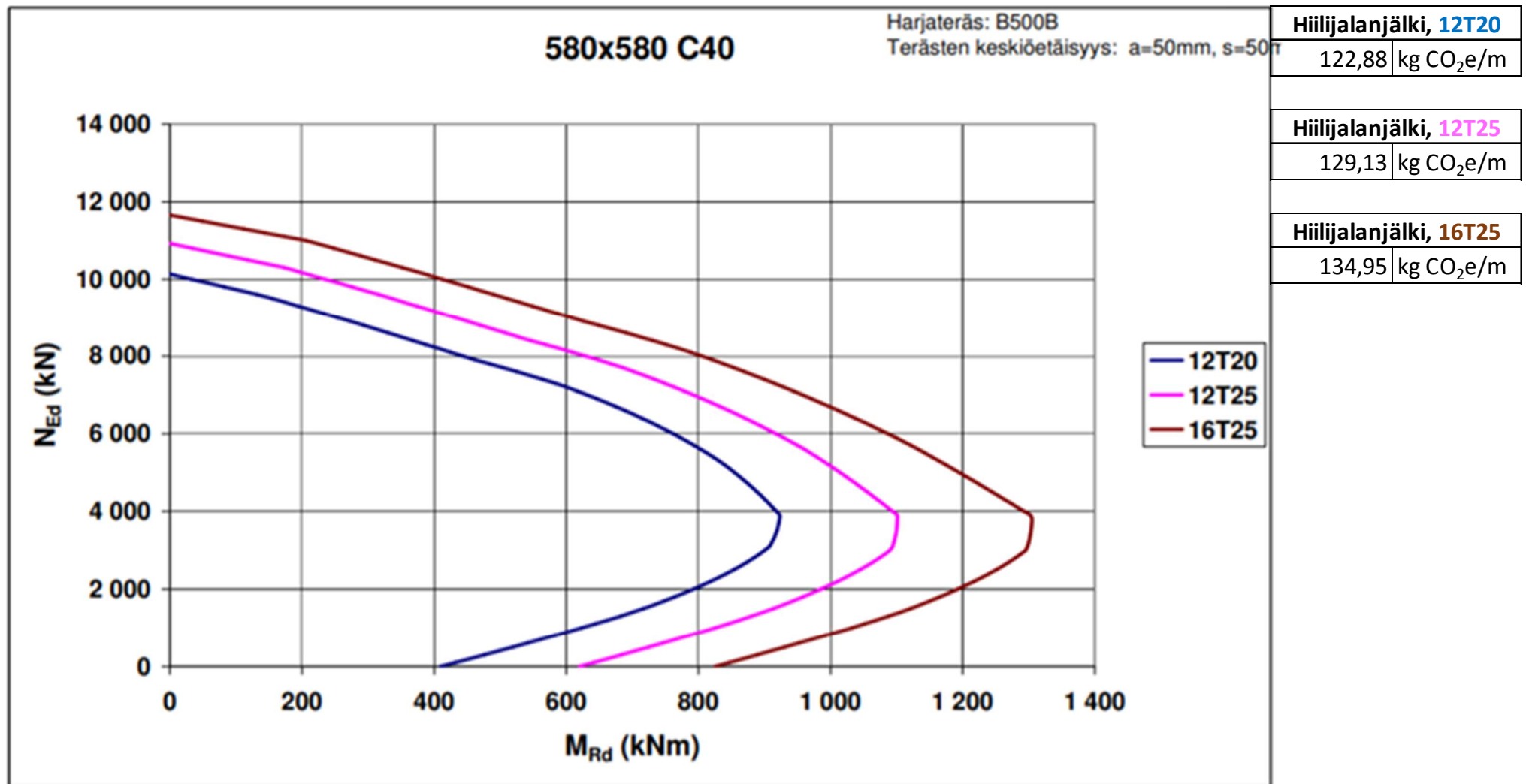
Esivalintataulukot, Teräsbetonipilarit

Taulukko 17. 480x480 teräsbetonipilarin kapasiteetti [37].



Esivalintataulukot, Teräsbetonipilarit

Taulukko 19. 580x580 teräsbetonipilarin kapasiteetti [37].



Esivalintataulukot, Liimapuupilarit

Taulukot soveltuvat käytettäväksi liimapuisien neliöpilareiden esimitoitukseen, kun taivutus vaikuttaa yhden akselin suhteen. Pilareiden kantokyky on ilmoitettu normaalivoima kestävyytensä, kun pystykuorman epäkeskisyys on taulukossa esitetyn suuruisen. Kantokyky on esitetty kolmelle eri pystykuorman epäkeskisyydelle 20 mm, 40 mm ja h/4. Pilareiden hiilijäljet on esitetty ensimmäisen esivalintataulukon yhteydessä.

Mitoituksessa käytetyt Eurokoodit ja ohjeet:

- RIL 205-1-2017 Puurakenteiden suunnitteluohje (Perustuu SFS-EN 1995-standardisarjaan ja Suomen kansallisiin liitteisiin)
- SFS-EN 1990 Rakenteiden suunnitteluperusteet
- SFS-EN 1991-1 Tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat
- Suomen kansalliset liitteet Puurakenteet
Rakenteiden kuormat

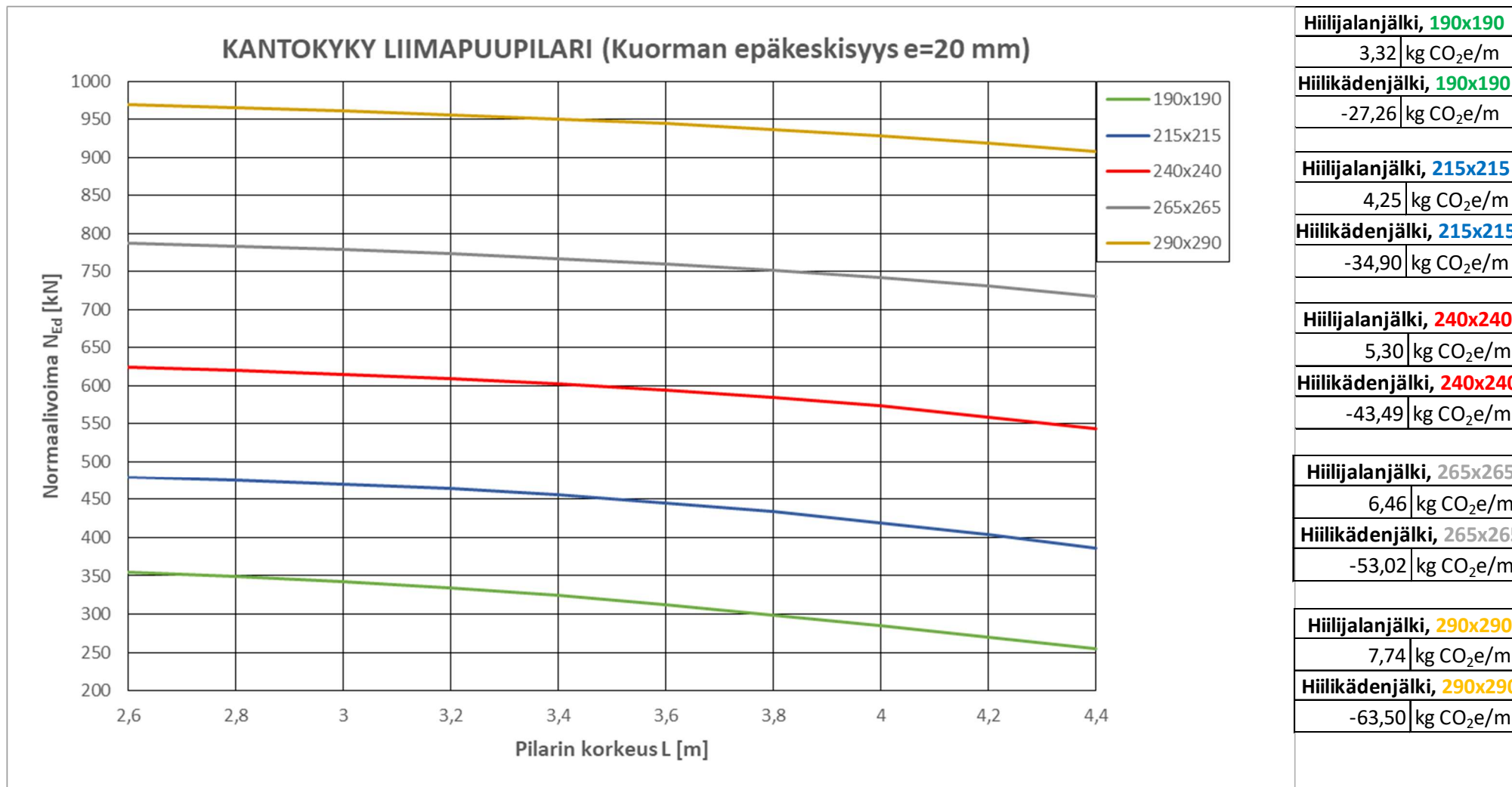
Mitoituksessa käytetyt materiaalitiedot ja oletusarvot:

- Liimapuu lujuus GL30c
- Palonkestävyys Tapauskohtainen suunnittelu
- Käyttöluokka KL1, KL2
- Kuormien aikaluokka Keskipitkä
- Materiaalinosavarmuus $\gamma_M=1,25$
- Rakennemalli Nivelellisesti ylä- ja alapäästä tuettu
- Nurjahduspituus kerroin $\beta=1,0$

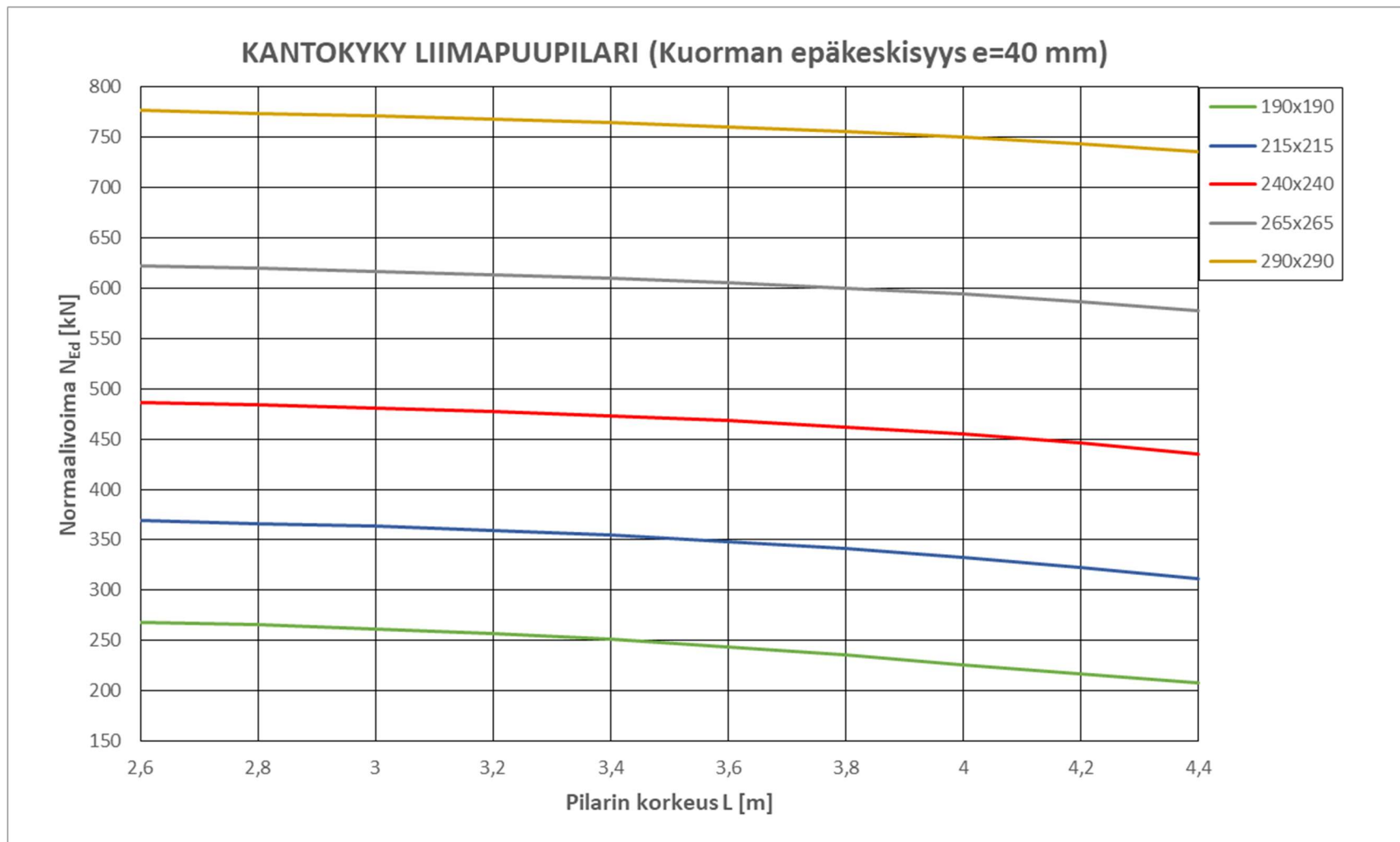
Hiilijalanjäljen ja -kädenjäljen laskennassa käytetyt tiedot:

- Ympäristötietokanta EPD Norge
- Ympäristöseloste NEPD-336-222-NO (Moelven Limtre AS, Standard limtrebjelke)
- Rajaus Elinkaaren vaiheet A1-3

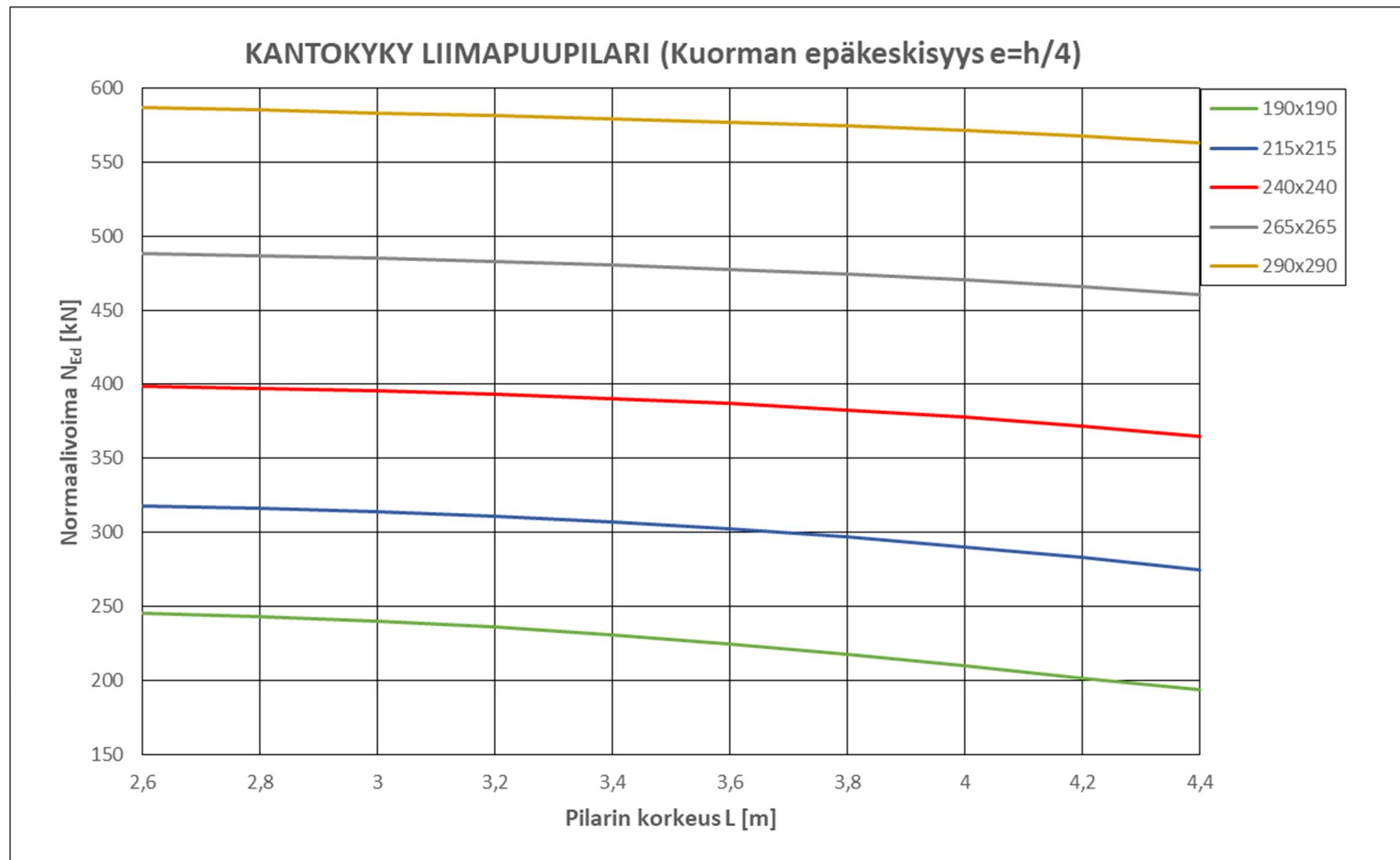
Esivalintataulukot, Liimapuupilarit



Esivalintataulukot, Liimapuupilarit



Esivalintataulukot, Liimapuupilarit



Esivalintataulukot, Neliö rakenneputki pilarit

Taulukot soveltuvat käytettäväksi kylmämuovattujen neliö rakenneputki pilarien esivalintaan, kun taivutus vaikuttaa yhden akselin suhteen. Pilareiden kantokyky on ilmoitettu normaalivoima kestävyytensä, kun pystykuorman epäkeskisyys on taulukossa esitetyn suuruinen. Kantokyvyt on esitetty kolmelle pystykuorman epäkeskisyydelle 20 mm, 40 mm ja h/4. Pilareiden hiilijalanjälki on esitetty ensimmäisen esivalintataulukon yhteydessä.

Mitoituksessa käytetyt Eurokoodit ja ohjeet:

- | | |
|----------------------------|---|
| • SSAB Domex Tube | Rakenneputket (Perustuu SFS-EN 1993-standardisarjaan) |
| • SFS-EN 1990 | Rakenteiden suunnitteluperusteet |
| • SFS-EN 1991-1 | Tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat |
| • Suomen kansallinen liite | Teräsrakenteet
Rakenteiden kuormat |

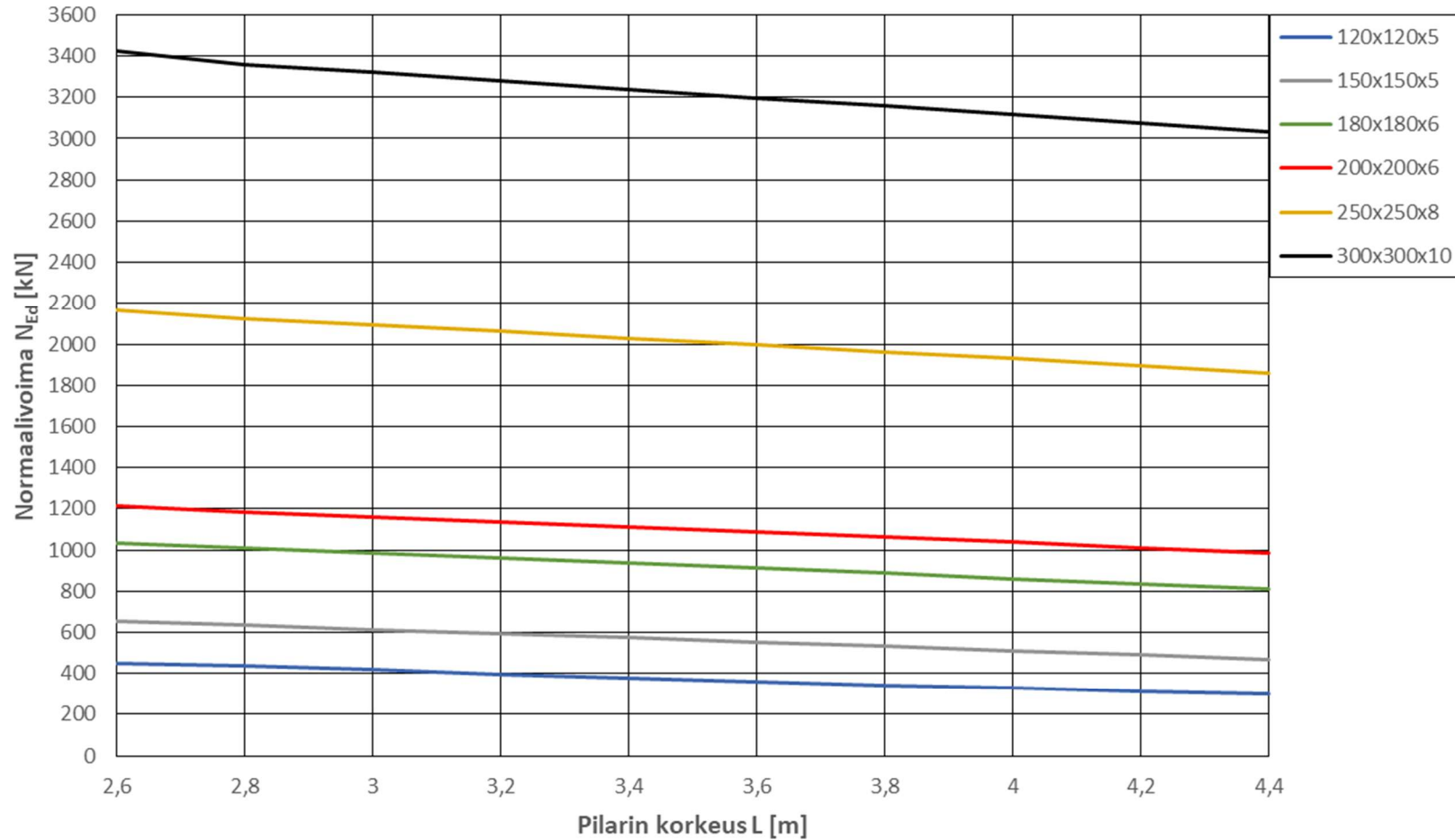
Mitoituksessa käytetyt materiaalitiedot ja oletusarvot:

- | | |
|---------------------------|--|
| • Teräslaji | S355J2H |
| • Palonkestävyys | Tapauskohtainen suunnittelu |
| • Rakennemalli | Nivelellisesti ylä- ja alapäästä tuettu |
| • Nurjahduspituus kerroin | $\beta=1,0$ |
| • Materiaalinosavarmuus | $\gamma_{M0}=1,0$
$\gamma_{M1}=1,0$
$\gamma_{M2}=1,25$ |
| • Kiepahduskerroin | $X_{LT}=1,0$ |

Hiilijalanjäljen laskennassa käytetyt tiedot:

- | | |
|-----------------------|--|
| • Ympäristötietokanta | EPD Norge |
| • Ympäristöseloste | NEPD-475-331-EN, (SSAB Europe Oy, Structural hollow sections, precision tubes, line pipes, steel sections and piles) |
| • Rajaus | Elinkaaren vaiheet A1-3 |

KANTOKYKY NELIÖ RAKENNEPUTKI PILARIT (Kuorman epäkeskisyys $e=20$ mm)



Hiilijalanjälki, 120x120x5
43,58 kg CO ₂ e/m

Hiilijalanjälki, 150x150x5
55,53 kg CO ₂ e/m

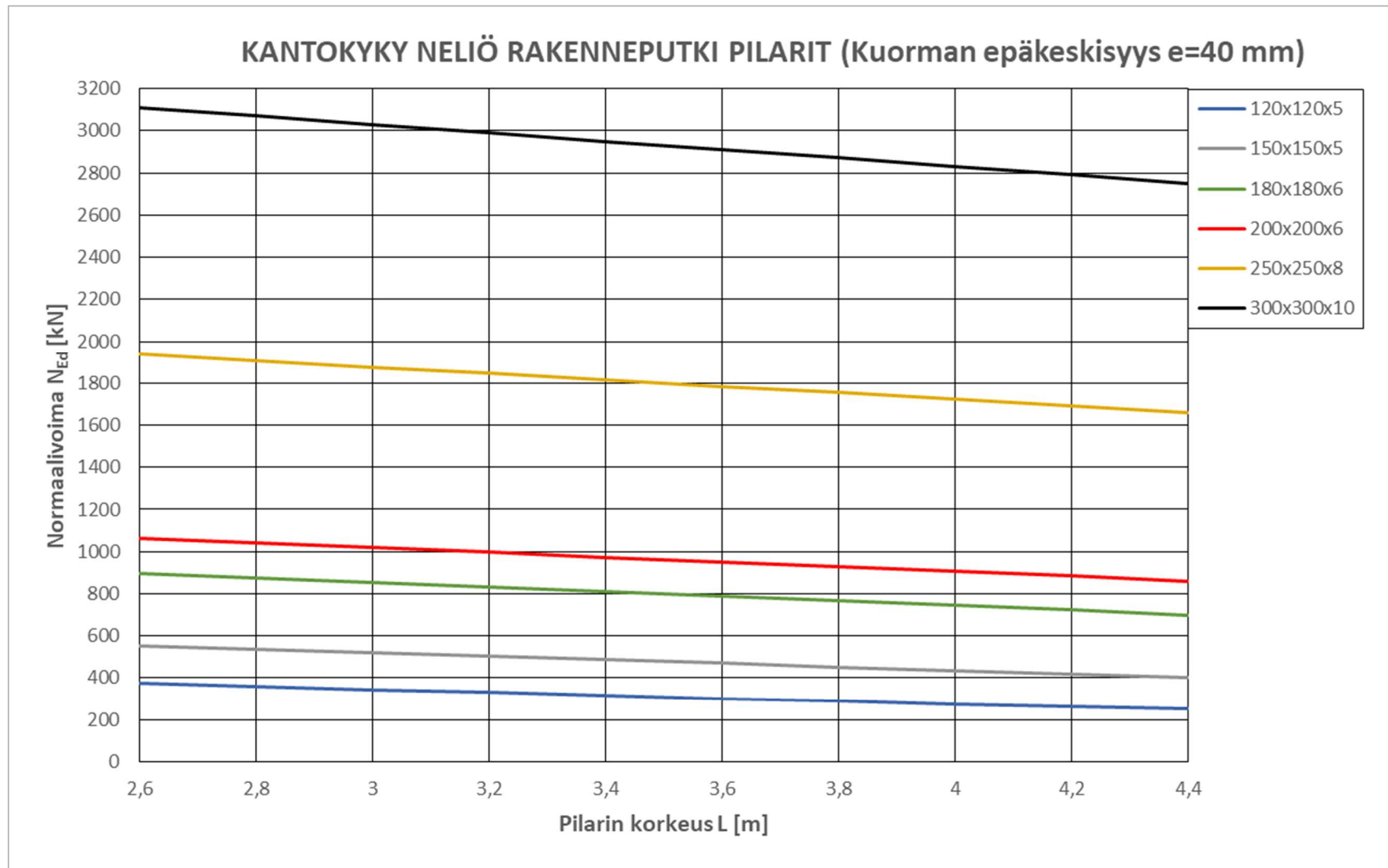
Hiilijalanjälki, 180x180x6
79,93 kg CO ₂ e/m

Hiilijalanjälki, 200x200x6
89,14 kg CO ₂ e/m

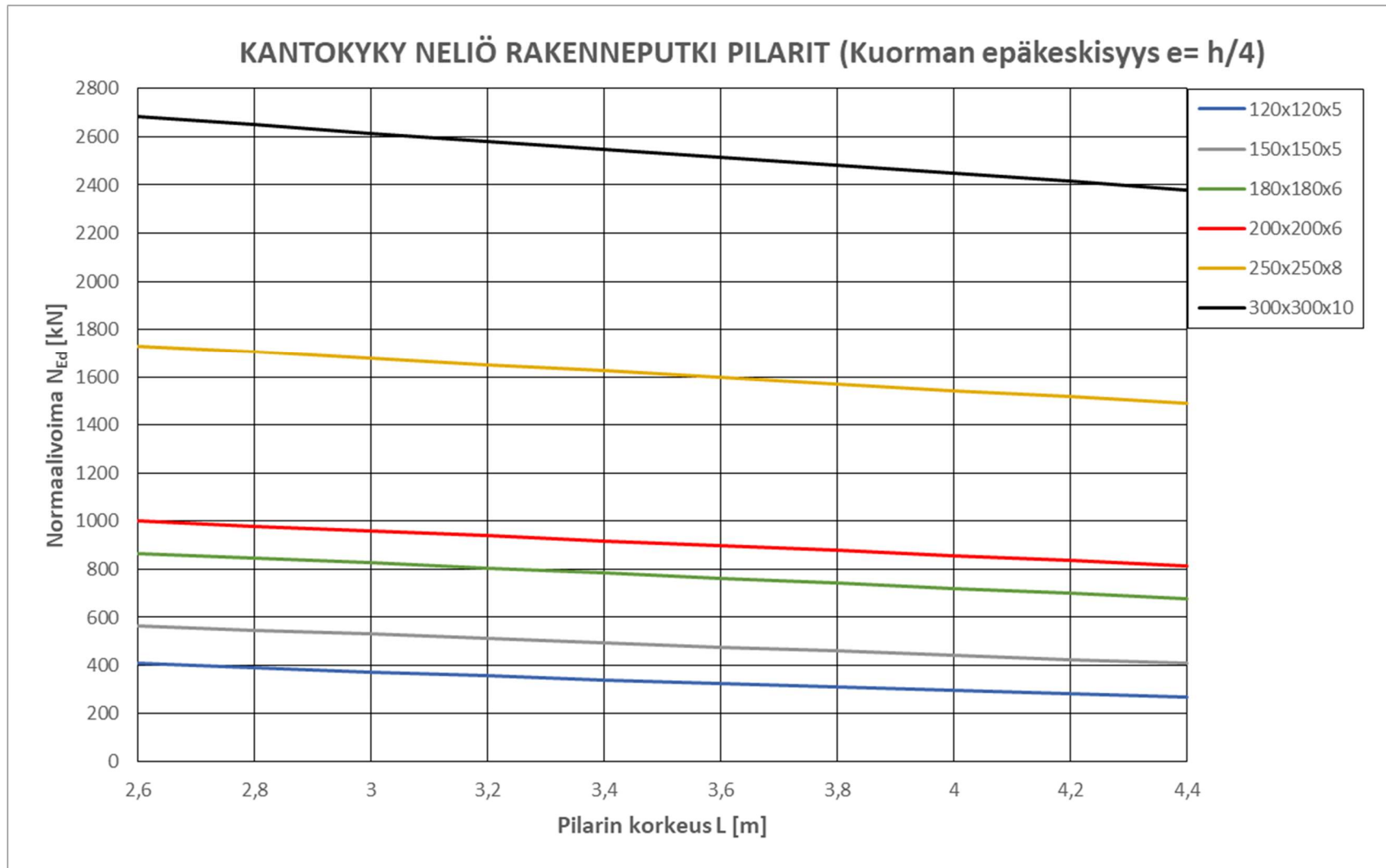
Hiilijalanjälki, 250x250x8
147,16 kg CO ₂ e/m

Hiilijalanjälki, 300x300x10
220,12 kg CO ₂ e/m

Esivalintataulukot, Neliö rakenneputki pilarit



Esivalintataulukot, Neliö rakenneputki pilarit



Esivalintataulukot, Betoni-teräs-liittopilarit

Taulukot soveltuvat käytettäväksi neliö poikkileikkauksen muotoisien betoni-teräs-liittopilarien esimitoitukseen, kun taivutus vaikuttaa yhden akselin suhteen. Pilareiden kapasiteetit on ilmoitettu normaalivoiman ja momentin yhteisvaikutuskäyrinä. Pilareiden vaihtoehtoiset raudoitukset on esitetty taulukoissa.

Mitoituksessa käytetyt Eurokoodit ja ohjeet:

- SFS-EN 1994-1-1 Betoni-teräs-liittorakenteiden suunnittelu
- SFS-EN 1990 Rakenteiden suunnittelu perusteet
- Suomen kansallinen liite Betoni-teräs-liittorakenteet

Mitoituksessa käytetyt materiaalitiedot ja oletusarvot:

- Betoni lujuus C30/37, C40/50
- Teräslaji S355J2H, kylmämuovattu rakenneputki
- Harjateräs B500HW
- Palonkestävyys Tapauskohtainen suunnittelu
- Materiaalinosavarmuus Betoni, $\gamma_c=1,35$
Teräs, $\gamma_M=1,0$
Harjateräs, $\gamma_s=1,1$
- Suojabetoni Teräsprofiilin sisäpinnan ja hakojen ulkopinnan välinen etäisyys.
u=25 mm (120x120x5, 150x150x5)
u=30 mm (180x180x6, 200x200x6, 220x220x8, 250x250x8, 300x300x10)

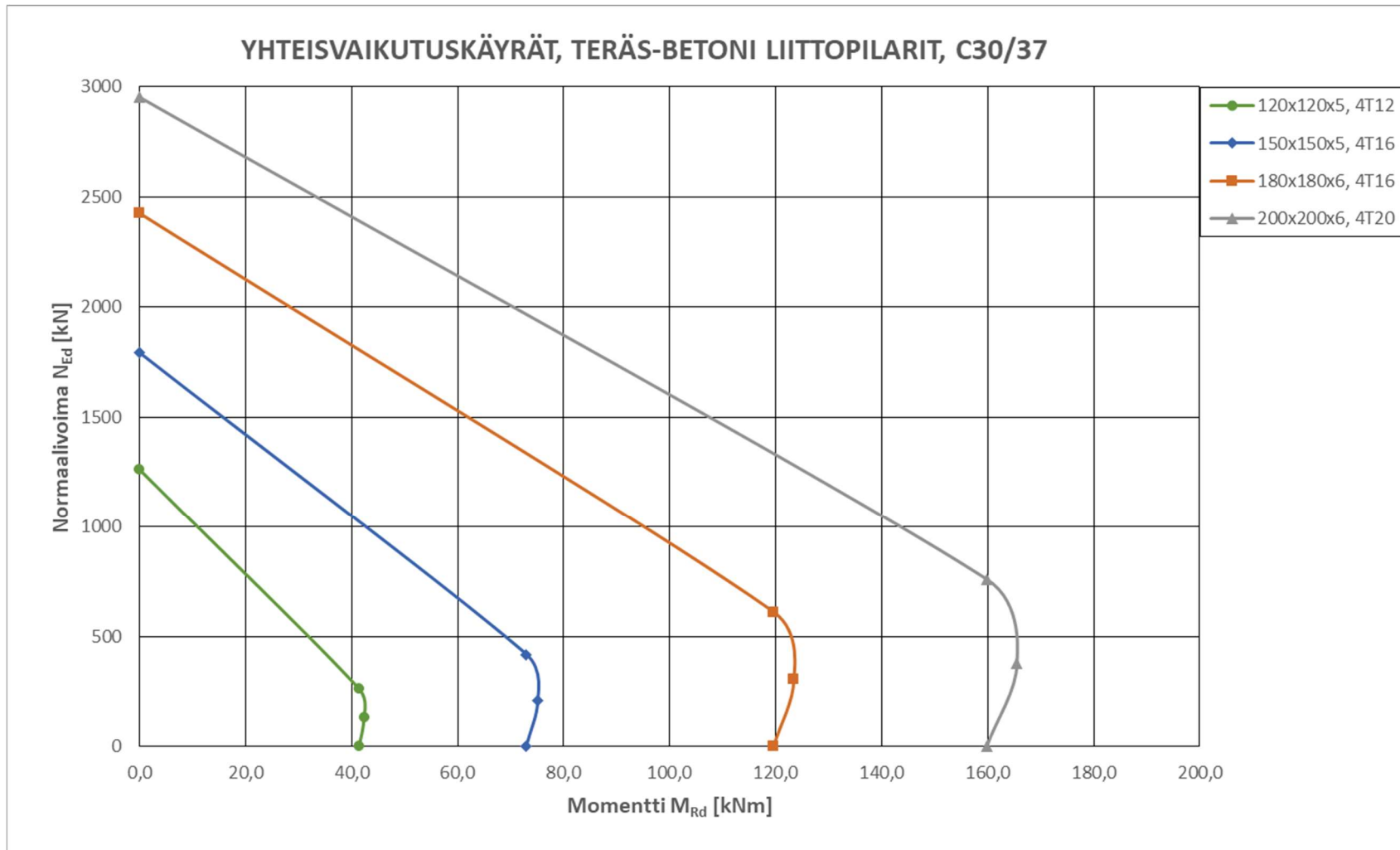
Hiilijalanjäljen laskennassa käytetyt tiedot:

- Ympäristöseloste, betoni Ei saatavilla paikallista ympäristöselostetta
- Ympäristödatan lähde One Click LCA
- Laskentaohjelma One Click LCA
- Ympäristödata, C30/37 Valmisbetoni, yleinen, C30/37, 2018
10 % kierrätettyjä sideaineita
Tiheys: 2400 kg/m³
Vesi/sementtisuhde = 0,55, 300 kg/m³
Portlandsementti ja sideaineet
- Ympäristödata, C40/50 Valmisbetoni, yleinen, C40/50, 2018
10 % kierrätettyjä sideaineita
Tiheys: 2400 kg/m³
Vesi/sementtisuhde = 0,4, 400 kg/m³
Portlandsementti ja sideaineet

Esivalintataulukot, Betoni-teräs-liittopilarit

- Ympäristötietokanta, teräs EPD Norge
- Ympäristöseloste, teräs NEPD-475-331-EN, (SSAB Europe Oy, Structural hollow sections, precision tubes, line pipes, steel sections and piles)
- Ympäristötietokanta, harjater. International EPD System
- Ympäristöseloste, harjater. S-P-00307, Steel reinforcement products for concrete EPD, Celsa steel service,
- Rajaus Elinkaaren vaiheet A1-3

Esivalintataulukot, Betoni-teräs-liittopilarit



Hiilijalanjälki, 120x120x5

48,41 kg CO₂e/m

Hiilijalanjälki, 150x150x5

63,50 kg CO₂e/m

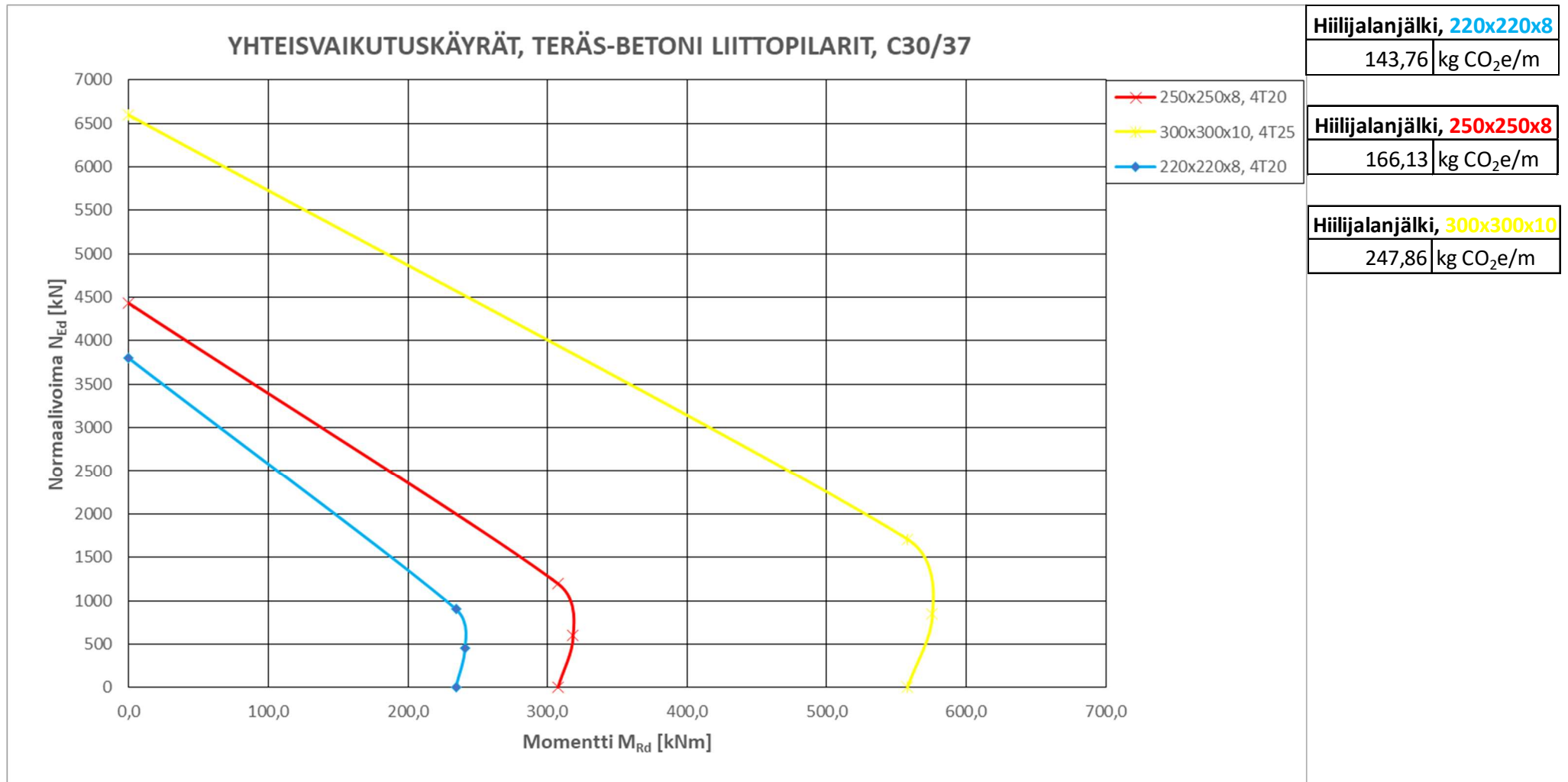
Hiilijalanjälki, 180x180x6

90,24 kg CO₂e/m

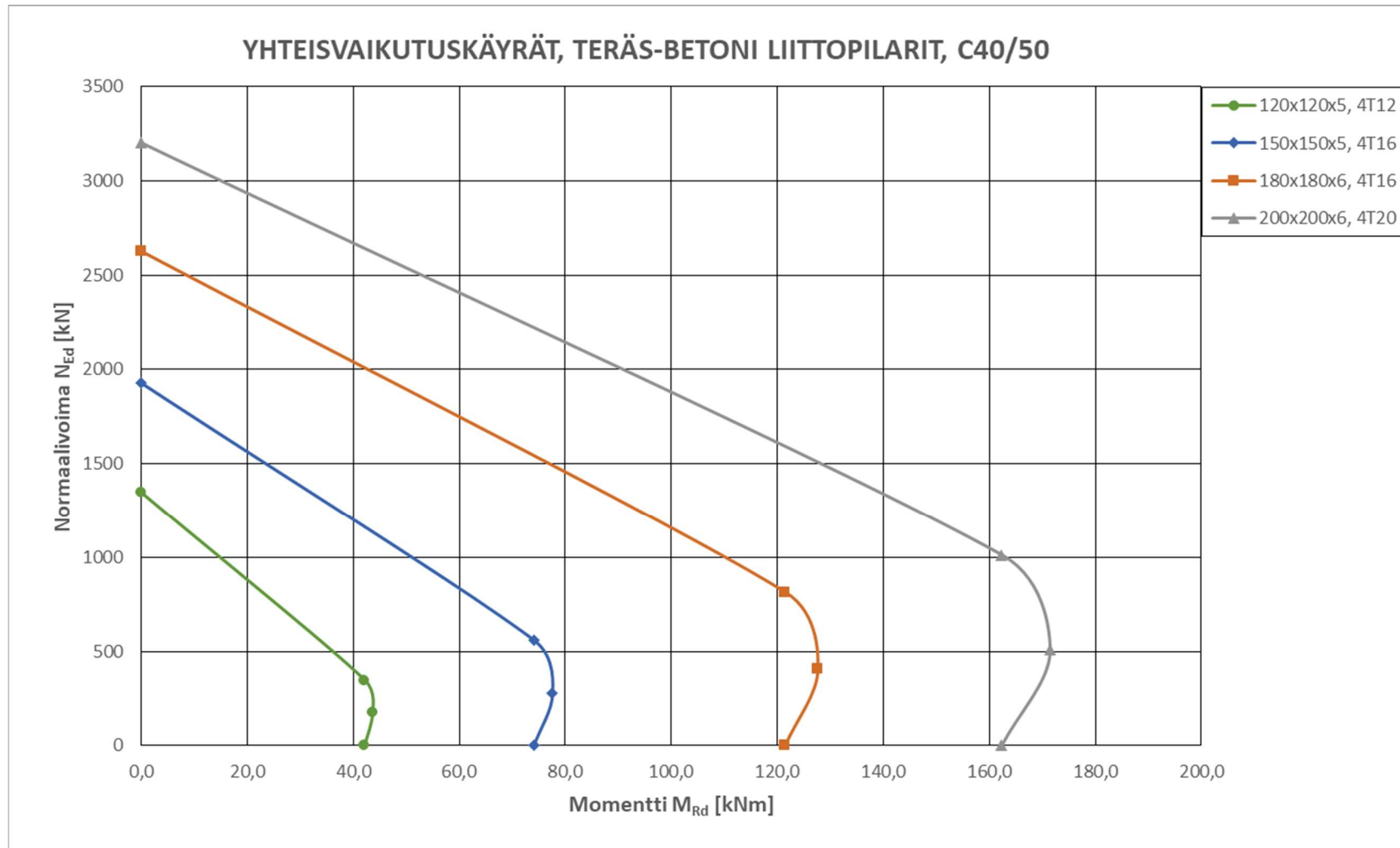
Hiilijalanjälki, 200x200x6

102,81 kg CO₂e/m

Esivalintataulukot, Betoni-teräs-liittopilarit

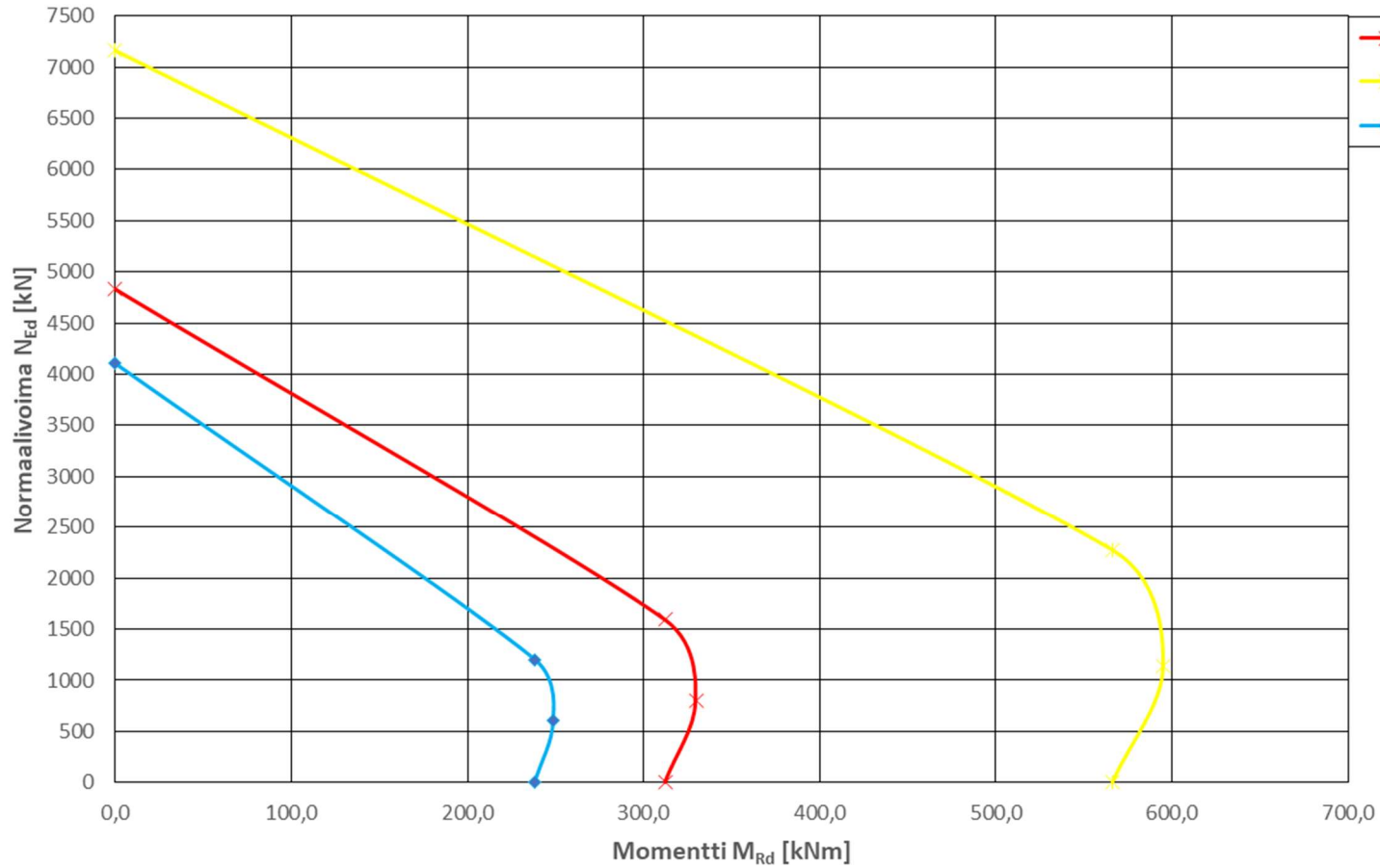


Esivalintataulukot, Betoni-teräs-liittopilarit

**Hiilijalanjälki, 120x120x5**49,46 kg CO₂e/m**Hiilijalanjälki, 150x150x5**65,16 kg CO₂e/m**Hiilijalanjälki, 180x180x6**92,64 kg CO₂e/m**Hiilijalanjälki, 200x200x6**105,79 kg CO₂e/m

Esivalintataulukot, Betoni-teräs-liittopilarit

YHTEISVAIKUTUSKÄYRÄT, TERÄS-BETONI LIITTOPILARIT, C40/50



Hiilijalanjälki, 220x220x8	
147,31	kg CO ₂ e/m

Hiilijalanjälki, 250x250x8	
170,75	kg CO ₂ e/m

Hiilijalanjälki, 300x300x10	
254,51	kg CO ₂ e/m

Esivalintataulukot, Teräsbetoniset suorakaidepalkit

Taulukot soveltuvat käytettäväksi teräsbetonisien suorakaidepalkkien esimitoitukseen. Palkkien kuormankantokyky on ilmoitettu mitoituskuormana taulukon pystyakselilla. Mitoituksessa ei olla huomioitu taipumaa, halkeamaleveyttä, eikä puristusteräksiä. Kantokykykäyrien katkoviivoitettuja osia ei suositella käytettäväksi. [38.]

Mitoituksessa käytetyt Eurokoodit ja ohjeet:

- SFS-EN 1992-1-1 Betonirakenteiden suunnittelu
- SFS-EN 1990 Rakenteiden suunnitteluperusteet
- SFS-EN 1991-1 Tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat
- Suomen kansalliset liitteet Betonirakenteet
Rakenteiden kuormat [38].

Mitoituksessa käytetyt materiaalitiedot ja oletusarvot:

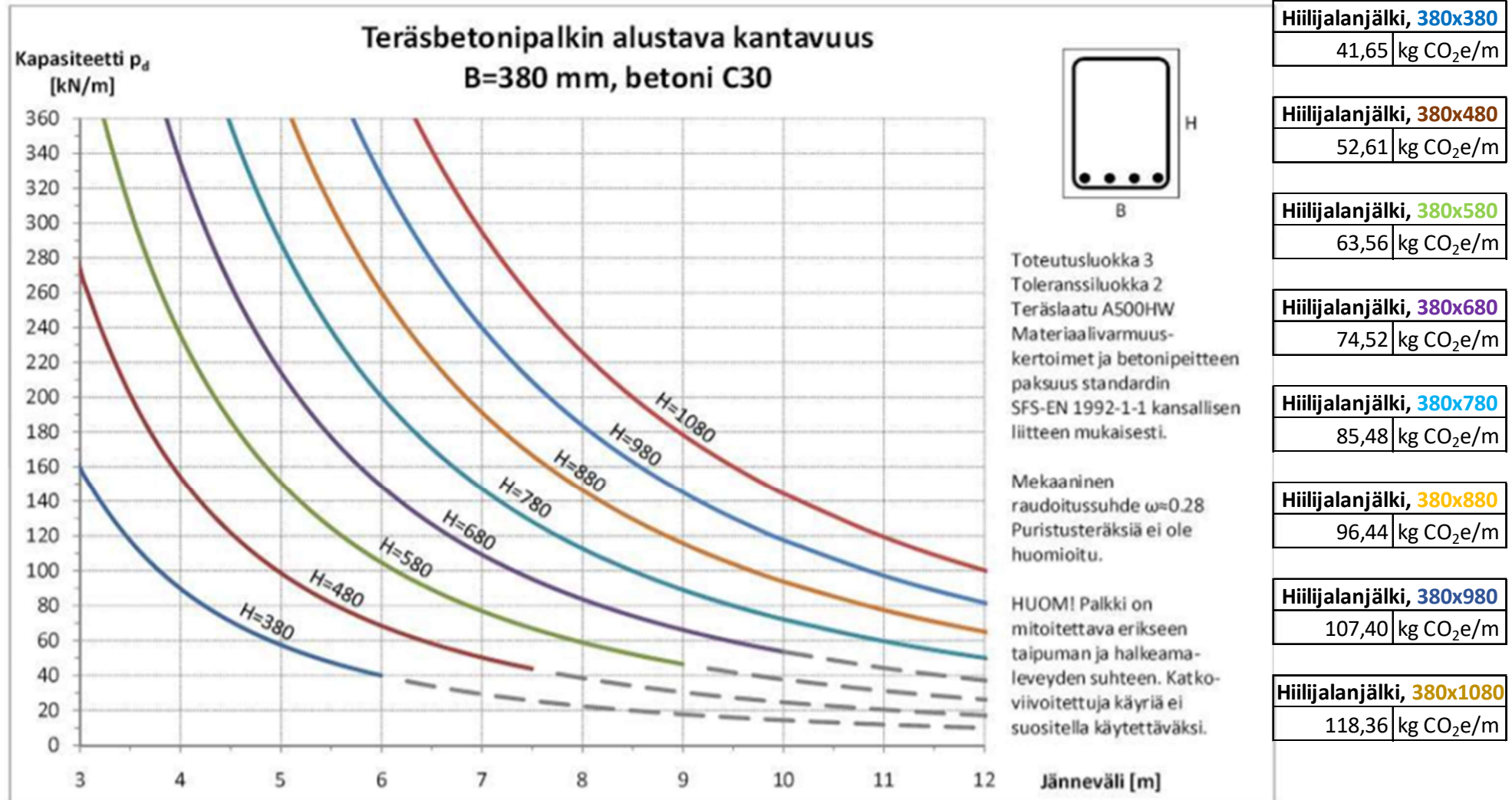
- Betonin lujuus C30/37, C40/50
- Teräslaatu A500HW
- Materiaaliosavarmuus SFS-EN 1992-1-1 kansallisen liitteen mukaisesti
- Toteutusluokka 3
- Toleranssiluokka 2
- Mek. raudoitussuhde $\omega=0,28$
- Rakennemalli Yksiaukkoinen [38.]
- Palonkestävyys R60 (keskiöetäisyys väh. $a=25$ mm)

Hiilijalanjäljen laskennassa käytetyt tiedot:

- Ympäristöseloste, betoni Ei saatavilla paikallista ympäristöselostetta
- Ympäristödatan lähde One Click LCA
- Laskentaohjelma One Click LCA
- Ympäristödata, C30/37 Valmisbetoni, yleinen, C30/37, 2018
10 % kierrätettyjä sideaineita
Tiheys: 2400 kg/m^3
Vesi/sementtisuhde = 0,55, 300 kg/m³
Portlandsementti ja sideaineet
- Ympäristödata, C40/50 Valmisbetoni, yleinen, C40/50, 2018
10 % kierrätettyjä sideaineita
Tiheys: 2400 kg/m^3
Vesi/sementtisuhde = 0,4, 400 kg/m³
Portlandsementti ja sideaineet
- Ympäristötietokanta, teräs International EPD System
- Ympäristöseloste, teräs S-P-00307, Steel reinforcement products for concrete EPD, Celsa steel service,
- Rajaus Elinkaaren vaiheet A1-3

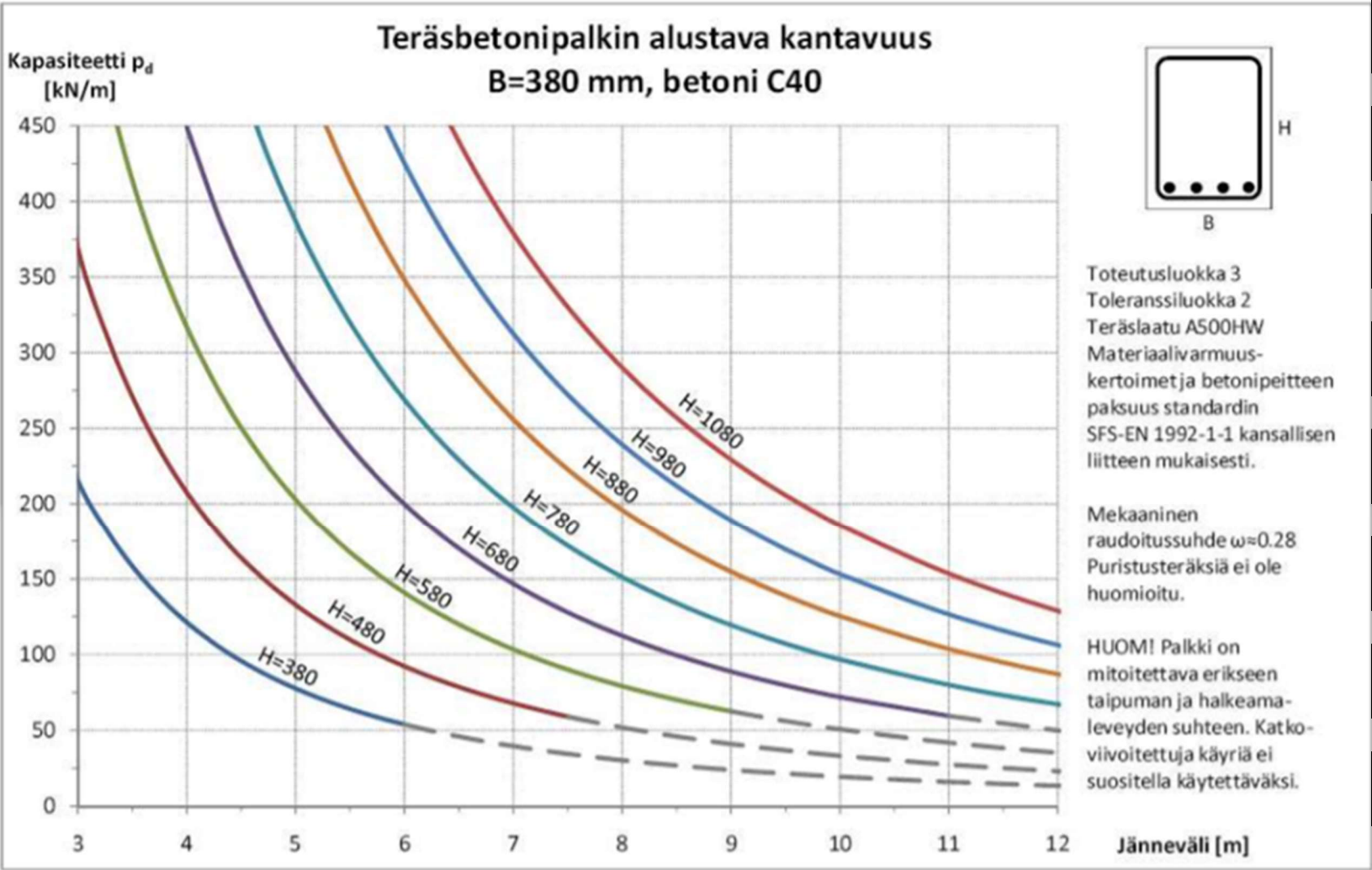
Esivalintataulukot, Teräsbetoniset suorakaidepalkit

Taulukko 20. Teräsbetonipalkkien kantokyky, C30/37 [38].



Esivalintataulukot, Teräsbetoniset suorakaidepalkit

Taulukko 21. Teräsbetonipalkkien kantokyky, C40/50 [38].



Hiilijalanjälki, 380x380	43,35 kg CO ₂ e/m
Hiilijalanjälki, 380x480	54,76 kg CO ₂ e/m
Hiilijalanjälki, 380x580	66,17 kg CO ₂ e/m
Hiilijalanjälki, 380x680	77,57 kg CO ₂ e/m
Hiilijalanjälki, 380x780	88,98 kg CO ₂ e/m
Hiilijalanjälki, 380x880	100,39 kg CO ₂ e/m
Hiilijalanjälki, 380x980	111,80 kg CO ₂ e/m
Hiilijalanjälki, 380x1080	123,21 kg CO ₂ e/m

Esivalintataulukko, LVL-palkit

Taulukot soveltuvat käytettäväksi suorakaiteen muotoisten LVL-palkkien esimitoitukseen. Palkkien kuormankantokyky on ilmoitettu ominaiskuormana taulukon pystyakselilla. Oman painon osuus ominaiskuormasta on 20 %. Kiepahdustukien väli lattiarakenteissa enintään 600 mm ja kattorakenteissa 1200 mm. Palkkien tarvitsema tukipituus tulee mitoittaa erikseen. [39.]

Mitoituksessa käytetyt Eurokoodit ja ohjeet:

- SFS-EN 1995-1-1 Puurakenteiden suunnittelu
- SFS-EN 1990 Rakenteiden suunnitteluperusteet
- SFS-EN 1991-1 Tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat
- Suomen kansalliset liitteet Puurakenteet
Rakenteiden kuormat [39].

Mitoituksessa käytetyt materiaalitiedot ja oletusarvoit:

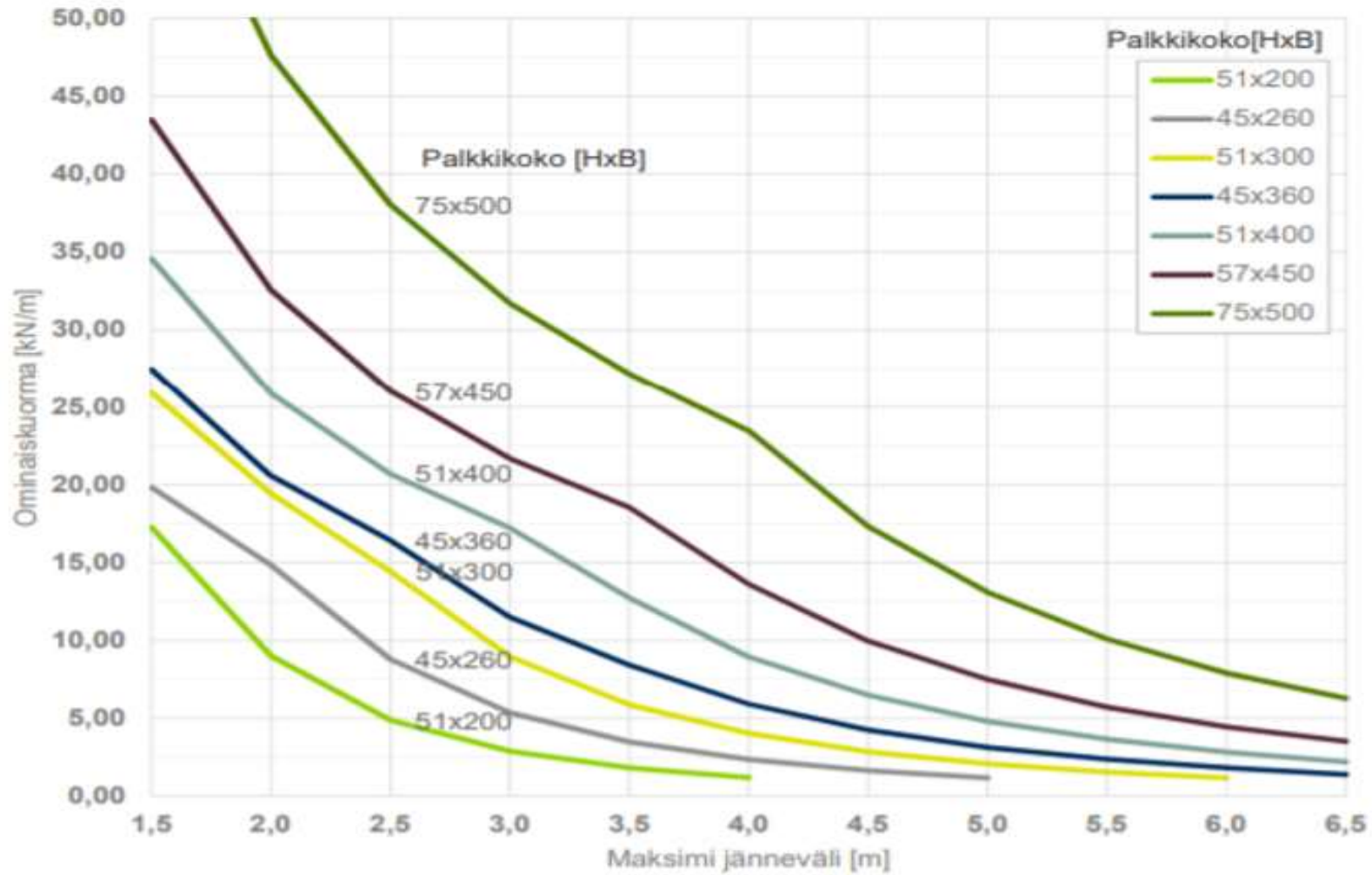
- Palkkityyppi Kerto S
- Palonkestävyys Tapauskohtainen suunnittelu
- Seuraamusluokka CC2 → $K_{Fi}=1,0$
- Materiaalinosavarmuus $\gamma_M=1,20$
- Kuorman aikaluokka Keskipitkä
- Käyttöluokka KL1, KL2
- Rakennemalli Yksiaukkoinen [39].

Hiilijalanjäljen ja -kädenjäljen laskennassa käytetyt tiedot:

- Ympäristötietokanta International EPD System
- Ympäristöseloste S-P-01730, Stora Enso, LVL (Laminated Vaneer Lumber)
- Rajaus Elinkaaren vaiheet A1-3

Esivalintataulukot, LVL-palkit

Taulukko 22. LVL-palkkien kantokyky [39].



Hiilijalanjälki, 51x200	1,59 kg CO ₂ e/m
Hiilikädenjälki, 51x200	-8,20 kg CO ₂ e/m
Hiilijalanjälki, 45x260	1,83 kg CO ₂ e/m
Hiilikädenjälki, 45x260	-9,41 kg CO ₂ e/m
Hiilijalanjälki, 51x300	2,39 kg CO ₂ e/m
Hiilikädenjälki, 51x300	-12,30 kg CO ₂ e/m
Hiilijalanjälki, 45x360	2,53 kg CO ₂ e/m
Hiilikädenjälki, 45x360	-13,02 kg CO ₂ e/m
Hiilijalanjälki, 51x400	3,18 kg CO ₂ e/m
Hiilikädenjälki, 51x400	-16,40 kg CO ₂ e/m
Hiilijalanjälki, 57x450	4,00 kg CO ₂ e/m
Hiilikädenjälki, 57x450	-20,62 kg CO ₂ e/m
Hiilijalanjälki, 75x500	5,85 kg CO ₂ e/m
Hiilikädenjälki, 75x500	-30,15 kg CO ₂ e/m