

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Ossi Koskisuu

VARASTOHALLIN RAKENNUSSUUNNITTELU JA ALUSTAVA
RAKENNESUUNNITTELU

Opinnäytetyö
Toukokuu 2016



OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2015
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
p. (013) 260 6800

Tekijä(t)
Ossi Koskisuus

Nimeke
Varastohallin rakennussuunnittelu ja alustava rakennesuunnittelu

Toimeksiantaja
Rakennuspalvelu Tukiainen Oy

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön aiheena oli varastohallin suunnittelu ja rakenteiden kestävyysien laskeminen. Suunnittelussa otettiin huomioon eri materiaalit ja niiden valinnan perusteet. Työn päämääränä oli luoda arkkitehti- ja rakennesuunnitelmat, jotka vastaisivat toimeksiantajan toivomuksia. Työhön myös sisältyi pilareiden ja kannatinpalkkien osalta rakennelaskelmat.

Opinnäytetyö tehtiin Rakennuspalvelu Tukiainen Oy:lle, jonka nykyinen halli alkaa väijäämättä käydä liian pieneksi, joten tulevaisuudessa he tulevat rakentamaan uuden varastohallin itselleen ajan ollessa sopiva ja sopivan tontin löydettyään. Rakennelaskelmat tehtiin olettaen, että kyseinen halli tulisi Outokummun lähialueelle.

Kieli
suomi

Sivuja 26
Liitteet 5
Liitesivumäärä 15

Asiasanat
Varastohalli, halli, betonipilari, toimisto, teräspalkki, suunnittelu, rakennussuunnittelu, laskeminen, kestävyyslaskut, elementti, rakennesuunnittelu



THESIS
April 2015
Degree Programme In Civil
Engineering
Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
FINLAND
p. (013) 260 6800

Author (s)
Ossi Koskisuu

Title
Designing of Storage Hall And Preliminary Structural Plans

Commissioned by
Building service Tukiainen Oy

Abstract

Aim of this thesis was to design a storage hall and do the structural calculations. In the designing process I took into account all the different building materials and the reasons behind choosing them. The goal of the work was to create architectural and structural plans, which would meet the demands of the client. Also part of the work was to do structural calculations for the pillars and the beams.

This thesis work was made for building service Tukiainen Oy, whose current storage hall is getting inevitably too small, so in the future they will be building a new storage hall for themselves when the time is right and after finding a suitable plot. Structural calculations were made on the supposition that the hall would be built in Outokumpu or in the nearby area.

Language
Finnish

Pages 26
Appendices 5
Pages of Appendices 15

Keywords

storage hall, hall, pillar, beam, office, design, architect, calculating, structural calculations, element, structural planning

Sisällysluettelo

1	Johdanto	5
1.1	Tausta	5
1.2	Työn tavoite	5
1.3	Työn rajaus	5
2	Suunnitteluprosessin yleinen kulku	6
2.1	Tarveselvitys	6
2.2	Hankesuunnittelu	6
2.3	Rakennussuunnittelu	7
3	Suunnitteluprosessi	7
3.1	Tarveselvitys opinnäytetyössä	7
3.2	Hankesuunnittelu opinnäytetyössä	8
3.2.1	Pilarit	8
3.2.2	Kattorakenne	9
3.2.3	Palkit	10
4	Rakennussuunnittelu opinnäytetyössä	11
4.1	Rakennussuunnittelun perusteet	11
4.2	Pohjaratkaisu	12
4.3	Julkisivu	13
4.4	Rakenteet	14
4.4.1	Alapohja	16
4.4.2	Yläpohja	17
4.4.3	Vesikatto	17
4.4.4	Ulkoseinät	17
5	Rakennesosien mitoitus	18
5.1	Tavoite	18
5.2	Kuormat	19
5.2.1	Lumikuorma	19
5.2.2	Tuulikuorma	20
5.3	Betonipilarit	21
5.4	Teräspalkit	22
5.5	Jäykistys	22
6	Yhteenveto tuloksista	23
7	Pohdinta	23
	Lähteet	25

Liitteet

Liite 1	Piirustukset
Liite 2	Teräspalkin rakennelaskelmat
Liite 3	Betonipilarin rakennelaskelmat
Liite 4	HEA-palkkien poikkileikkausarvot
Liite 5	Harjaterästaulukko

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö sisältää varasto-/toimistohallin rakenteiden kestävyyslaskelmat ja rakennus- ja rakennesuunnitelmat. Suunnittelemani hallin toimeksiantajana sain Rakennuspalvelu Tukiainen Oy:ltä, joka on Outokummussa sijaitseva vuonna 2005 perustettu rakennusalaan erikoistunut yhtiö, joka toimii Itä- ja Keski-Suomenalueella.

1.1 Tausta

Rakennuspalvelu Tukiainen Oy -yrityksen kasvaessa heidän nykyiset varastotilat käyvät vääjäämättä liian pieniksi. Esimerkiksi nykyiseen halliin ei mahdu kuin yksi auto kerrallaan sisään, joten keskusteltuani heidän kanssaan sain heiltä opinnäytetyön aiheeksi suuremman rakennustavaroiden varastohallin suunnittelun.

1.2 Työn tavoite

Työn tavoitteena oli tehdä toimeksiantajan toivomukset täyttävä hallirakennus, jolla saataisiin tarpeeksi tilaa kaikkiin yrityksen nykyisiin ja tuleviin tarpeisiin. Toimeksiantaja antoi minulle vapaat kädet materiaalien suhteen.

1.3 Työn rajaus

Tähän opinnäytetyöhön kuuluu rakenteiden materiaalien päätös omatoimisesti. Oleellinen osa tätä työtä on hallin rakennelaskelmat eli rakennuksen pilareiden ja palkkien kestävyyksien laskeminen. Tämä opinnäytetyö myös sisältää perusteoriaa kestävyyslaskemisesta. Viimeisenä tässä työssä tehdään arkkitehtikuvat lopullisesta hallista, jotka tehdään AutoCAD-ohjelmalla, mutta kuviin en voinut sisältää asemakuvaa, koska toimeksiantajalla ei ole vielä tonttia hallille.

2 Suunnitteluprosessin yleinen kulku

Suunnitteluprosessin tarkoituksena on tuottaa tiettyä toimintaa palvelevaa tilaa, jossa otetaan huomioon asiakkaan tarpeet ja vaatimukset [10, s. 2–3]. Koska tässä opinnäytetyössä käsitellään vain rakennuksen suunnitteluprosessi, niin voimme käyttää hyödyksi normaalin rakennushankkeen askelmia (kuva 1), joista jätämme huomioimatta rakennusvaiheen ja käyttöönoton. Askelmat, jotka tässä opinnäytetyössä otetaan huomioon ovat siis tarveselvitys, hanke- ja rakennesuunnittelu.

	Hankkeen osapuolet	K	R	S	U	V
Hankkeen vaiheet		Käyttäjä	Rakennuttaja	Suunnittelija	Rakentaja	Viranomainen
TS	Tarveselvitys					
HS	Hankesuunnittelu					
RS	Rakennussuunnittelu					
RA	Rakentaminen					
KO	Käyttöönotto					

Kuva 1. Rakennushankkeen vaiheet ja osapuolet [16].

2.1 Tarveselvitys

Tarveselvityksessä selvitetään rakennuksen tarpeellisuutta ja tarvittavat ominaisuudet. Nämä selvitykset lopuksi kootaan yhdeksi dokumentiksi, jonka perusteella voidaan tehdä lopullinen hankesuunnitelma. [10, s. 3.]

2.2 Hankesuunnittelu

Hankesuunnitteluvaiheessa otetaan huomioon halutut ominaisuudet, jotka selvitettiin tarveselvityksessä. Tarveselvitystä huomioiden suunnitellaan rakennuksen rakennusmateriaalit ja lopullisen rakennuksen laajuus. Hankesuunnitelma-

vaiheessa voidaan myös tehdä kustannusarvio ja rakennuksen rakentamisaikataulu. [10, s. 3.]

2.3 Rakennussuunnittelu

Rakennussuunnitteluvaiheessa suunnitellaan hankesuunnitelman pohjalta lopulliset arkkiehtikuvat ja rakennekuvat, joissa otetaan huomioon kaikki aiemmin selvitettyt ominaisuudet ja asiakkaan vaatimukset. [10, s. 3.]

3 Suunnitteluprosessi

3.1 Tarveselvitys opinnäytetyössä

Työn alussa käytiin keskustelu toimeksiantajan edustajan kanssa heidän halumistaan ominaisuuksista, jotka ovat mainittu taulukossa 1. Tärkeimpänä tuli ilmi, että rakennuksen materiaali olisi täysin minun päätettävissä ja rakennus olisi mieluiten pulpettikattoinen, jotta lumet saataisiin pudotettua takapihalle. Rakennuksen pinta-alatoivomus oli 500–600 m².

Taulukko 1. Toimeksiantajan tilaohjelma

Tila	Käyttötarkoitus	Lisätietoja	Koko
Työpaja	Työskentelytila, esim. puuelementtiseinien valmistamiseen.	Nosto-ovi jonka korkeus vähintään 3,5m.	n. 150 m ² .
Sosiaalitilat	Taukuhuone, johon kuuluisi pieni keittiö ja tilaa ruokailupöydälle.	Tilaan kuuluisi myös pukuhuone, suihku ja WC.	Oma har- kinta.
Autotalli	Autotalli johon mahtuu 3kpl autoja, 2 kpl peräkärryjä ja nosturi.	Kylmätila tai +2-3 °C talvisin.	Oma har- kinta.
Kylmävarasto	Tilassa säilytettäisiin esim. puutavarat ja laastisäkit, jotka eivät vaadi huoneenlämpöä.	Seinille hyllypaikkoja puutavaroille ja trukkipaikoja laastisäkeille.	Oma har- kinta.
Lämminvarasto	Säilytystila tavaroille jotka vaatii huoneenlämmön esim. maalit.	Tilaa b. 20-30 trukkipaikoille ja n. 150 m ² hyllytilaa seinille	Oma har- kinta.
Toimistot	Tila jossa voidaan pitää pientä palaveria asiakkaiden kanssa.	2 kappaletta toimistoja, jotka yhdistettäisiin toisiinsa välissä olevalla näyttelytilalla, jossa on yleisimmät rakennusmateriaalit näytillä.	Oma har- kinta.
Tekninen tila	Tila lämmitykselle, ilmanvaihtokoneelle ja sähköpääkeskukselle.	-	Oma har- kinta.
Käyttöullakko	Pieni säilytystila ylimääräisille tavaroille	-	Oma har- kinta.

3.2 Hankesuunnittelu opinnäytetyössä

Opinnäytetyön tässä vaiheessa oli aika valita rakennusmateriaalit. Materiaalit vaihtuivat muutaman kerran matkalla, mutta lopullisiksi materiaaleiksi tuli pilareiden osalta teräsbetoni, palkeiksi HEA-teräspalkit ja kattorakenteeksi valmiit puukattoristikot.

3.2.1 Pilarit

Pilareiden materiaalien valinta tässä opinnäytetyössä oli kahden materiaalin välillä joko teräsbetoni- tai teräspilarit. Toimeksiantaja mainitsi heti alussa betonirungon, joten se jäi itselleni päälimmäiseksi ajatukseksi, mutta silti mietin betonin etuuksia. Betonipilareiden suuri etu omasta mielestäni on ulkonäkö. Betonipilareihin saadaan ulkovuoreksi betonielementit, joiden ulkonäköä saadaan aika paljon muunneltua eri pinnoittein [12]. Pelkästään tämän perusteella halusin toteuttaa rakennuksen betonipilareilla.

3.2.2 Kattorakenne

Toimeksiantajan suurimpana toiveena oli se, että katto olisi pulpettikatto, joka helpottaisi lumien pudotusta pelkästään takapihalle. Ensimmäisenä materiaalina mieleeni tuli betoni, mutta pitkän etsimisen jälkeen en ollut löytänyt mitään tietoa betonipulpettikatoista. Luovuttuani betonista, päätin yksinkertaistaa rakennusta ja valita kattorakenteeksi puun (kuva 2).

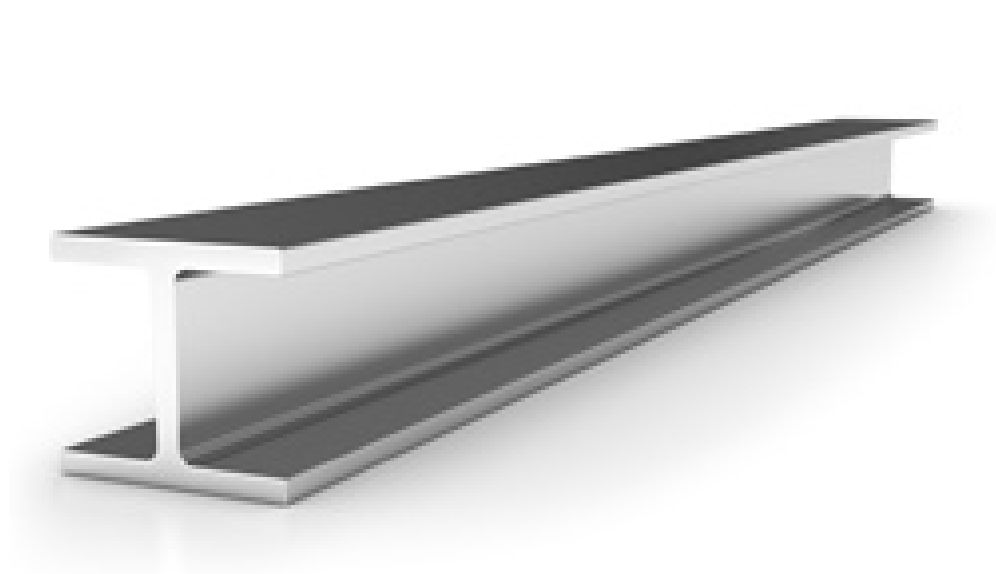
Materiaalin valittuani ajatuksen tasolla, täytyi selvittää pulpettiristikoiden ominaisuudet. Pulpettiristikoita voidaan käyttää maksimissaan 20 m jännevälisissä rakennuksissa [11, s. 8], joten tuo ominaisuus täytyi ottaa huomioon rakennusta suunnitellessa. Huomioiden maksimi jännevälin rakennuksen jänneväliksi tuli 15 m. Ristikoiden kestävyysä en itse alkanut laskemaan, koska niiden tullessa valmiina, valmistajan on helpompi itse laskea niiden kestävyudet.



Kuva 2. Pulpettiristikko [11].

3.2.3 Palkit

Kattoristikoiden asennusta varten täytyi rakennuksen pilareiden päälle laittaa kiertämään vaakapalkit, joihin pulpettiristikot saadaan kiinnitettyä tarvittavalla välillä [11, s. 8]. Materiaalivaihtoehtoina palkeissakin kuten pilareissakin oli teräsbetoni ja teräs. Palkkien kohdalla teräksen suurin etu oli lujuus-painosuhte [20, s. 65]. Myöskin puisten pulpettiristikoiden kiinnitys on teräkseen helppoa, joka suoritetaan hitsaamalla palkkeihin kiinni kattotuolikulmat [20, s. 28]. Näiden ominaisuuksien johdosta päädyttiin teräspalkkeihin (kuva 3).



Kuva 3. HEA-teräspalkki [7].

4 Rakennussuunnittelu opinnäytetyössä

4.1 Rakennussuunnittelun perusteet

Hallin rakennussuunnittelun päätavoitteena on saavuttaa yleiset toimivuustavoitteet, jotka ovat

- käyttökelpoisuus
- koettavuus
- tekniset ominaisuudet. [8, s. 31.]

Myöskin rakennuksen elinkaari ja kustannustekijät on hyvä ottaa huomioon suunnittelu-urakassa [8, s. 31].

Rakennussuunnittelussa on otettava myös huomioon rakennuksen käyttökelpoisuus, eli asetettujen toiminnallisten tavoitteiden täyttyminen, jotka ovat

- tontti ja liikenne
- tilakannan laajuus ja muoto
- tilojen väliset yhteydet
- olosuhteet ja niiden hallinta
- laatutaso
- monikäyttöisyys. [8, s. 32–36.]

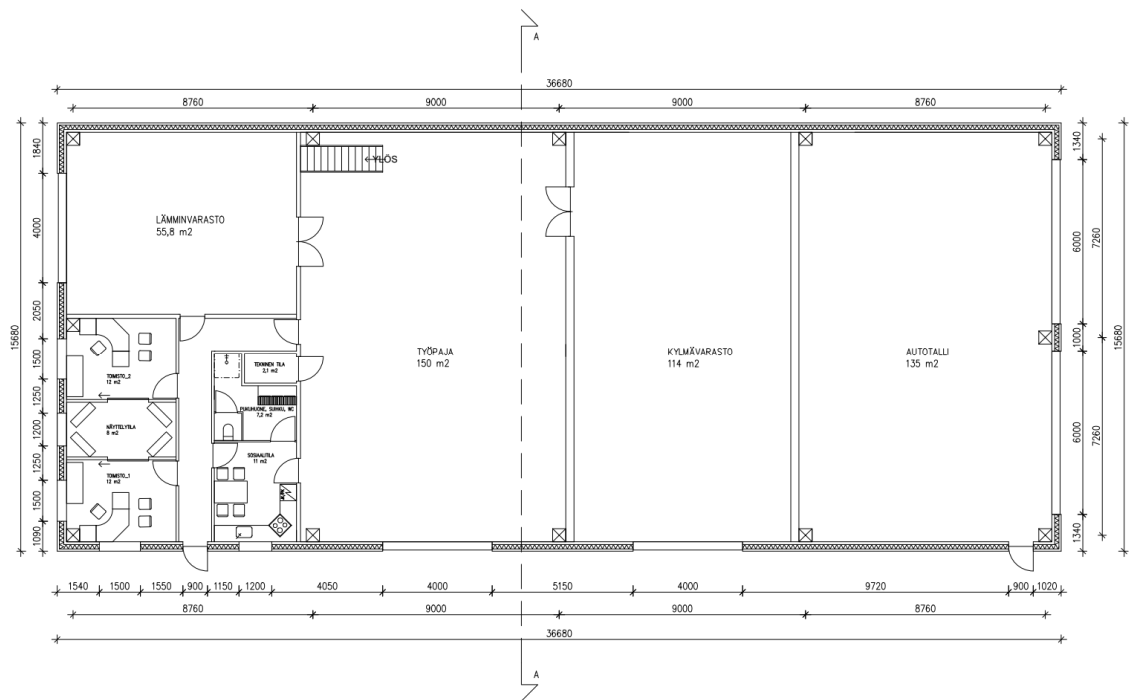
Tontin ja liikenteen osalta on otettava huomioon, miten rakennus sijoitellaan tontille, että rakennus ei vaikeuta tontin liikennettä ja sopeutuu alueen ulkonäköön. Tilakannan laajuudella ja muodolla painotetaan, että rakennuksessa yritetään välttää hukkatilaa, joka useimmiten vain lisää turhia kustannuksia niin rakennusvaiheessa kuin ylläpidossa. Myöskin tilojen väliset yhteydet vaikuttavat suuresti tilakannan laajuuteen ja muotoon, sillä yritetään välttää turhaa tilojen välistä matkaa ja helpottaa kulkemista rakennuksessa. [8, s. 32–36.]

Olosuhteiden hallinnalla yritetään parantaa sisäilman laatua esim. ilmanvaihtokoneilla, jotka lisäävät rakennuksessa käyttömukavuutta ja käyttöikä. Edellä mainitut seikat vaikuttavat myös rakennuksen laatutasoon, jolla yritetään valita

tilaan sopivat rakennusmateriaalit. [8, s. 36–38.] Tosin tässä opinnäytetyössä ei ole otettu kantaa LVI-asioihin, vaan oletetaan että LVI-suunnittelija hoitaa ne.

4.2 Pohjaratkaisu

Pohjaratkaisuksi pyrin tekemään yksinkertaisen ja samalla toimivan ratkaisun, joka täyttäisi kaikki toimeksiantajan haluamat ominaisuudet. Suunnittelussa otettiin huomioon etenkin tilojen koot ja sijoitus, joiden avulla helpotetaan työskentelyä hallissa. Hyvä esimerkki tästä on, että työskentelypajasta on ovet kylmään ja lämpimään varastoon, jotta tarvikkeita ei tarvitse kuljettaa ulkokautta (kuva 4). Lopullinen pohjaratkaisu löytyy kuvasta 4 tai liitteestä 1 ja huoneiden koot taulukosta 2.



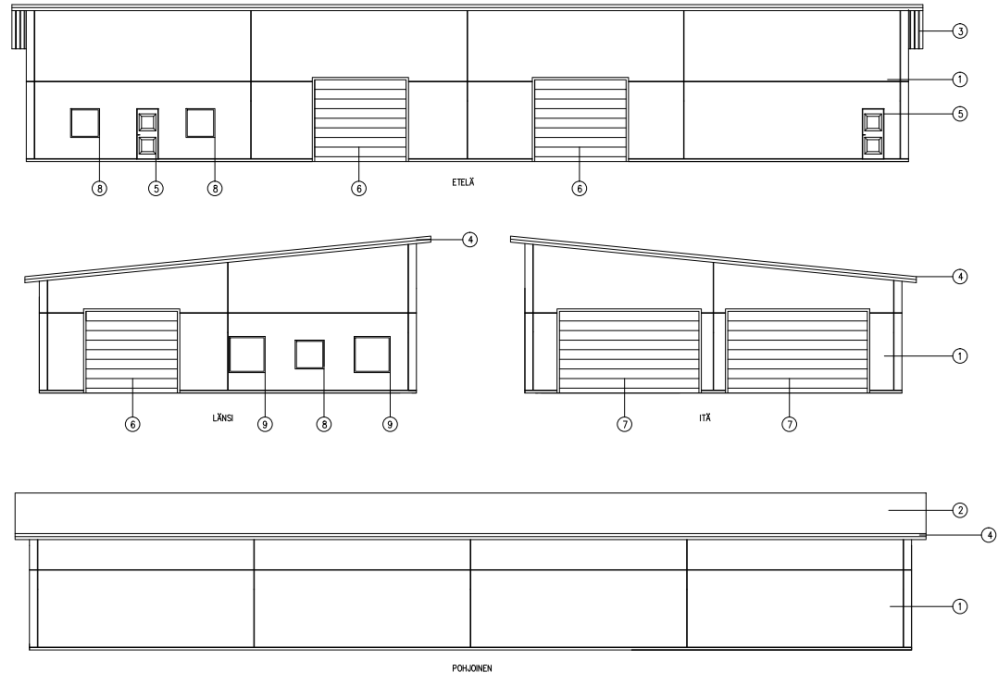
Kuva 4. Pohjakuva.

Taulukko 2. Lopullinen tilaohjelma

Tila	Koko (m²)
Työpaja	150
Sosiaalitilat (taukuhuone, pukuhuone, suihku ja WC)	18
Autotalli	135
Kylmävarasto	114
Lämminvarasto	56
Toimistot 2kpl yht.	24
Näyttely tila	8
Tekninen tila	2,5
(Käyttöullakko)	(120)
Rakennusala	575

4.3 Julkisivu

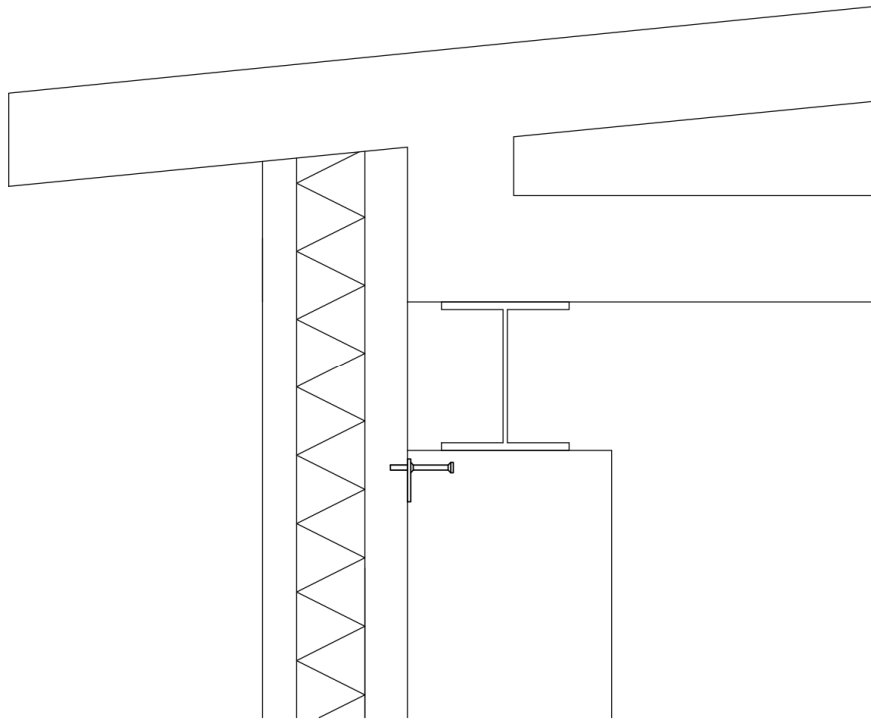
Julkisivultaan halli on ulkonäöltään normaali betonirakenteinen halli. Siitä johtuen kyseinen rakennus tulee sopimaan ulkonäöltään minne vain. Oletuksena kuitenkin on, että halli tulee paikkakunnan teollisuusalueelle. Rakennuksen ulkonäköön saadaan kuitenkin pientä erilaisuutta puisilla räystäillä, mikä ei ole tämän kaltaisissa rakennuksissa yleistä (kuva 5).



Kuva 5. Julkisivut.

4.4 Rakenteet

Runkona suunnitellussa rakennuksessa on käytetty 480x480 betonipilareita, ulkokuorena ovat SW-betonielementti (betoni-lämmöneriste-betoni). Kattorakenne on suunniteltu tulemaan puisilla kattotuoleilla, jotka asennetaan teräspalkin päälle, joka kiertää koko rakennuksen betonipilareiden päällä (kuva 6). Tällä ratkaisulla saadaan hiukan rakennuksen kuormia pienemmäksi ja mukavaa pirstystä rakennuksen ulkonäköön puisella yläosalla.



Kuva 6. Rakenneratkaisu.

Betonipilarit runkoratkaisuna on todella yleinen. Useimmiten pilarit ovat muodoltaan suorakaiteisia tai pyöreitä. Pilareita valittaessa olisi hyvä huomioida esimerkiksi seuraavia asioita.

- Arkkitehtoniset seikat, että pilarit sopivat rakennuksen ulkonäköön.
- Neliöpilarit ovat suositeltuja (kuva 7).
- Samassa kohteessa pyritään käyttämään vain yhden kokoisia pilareita.

[4, s. 28–29.]

		PILARIN LEVEYS				
		2M 180	3M 280	4M 380	5M 480	6M 580
PILARIN KORKEUS	2M 180	□				
	3M 280	□	■			
	4M 380	□	□	■		
	5M 480			□	■	
	6M 580			□	□	■
	7M 680				□	□
	8M 780					□

SUOSITELTAVIN
 SUOSITELTAVA

Kuva 7. Suorakaidepilareiden suositellut koot [4, s.29]

4.4.1 Alapohja

Alapohjaksi rakennukseen tulee paikallavalettu maanvarainen teräsbetonilaatta, paksuudeltaan 150 mm ja betonin lujuusluokka C25. Lämmöneristeeksi tulee EPS-levyt, paksuudeltaan 150 mm keskellä ja rakennuksen reunoilla 200 mm. Kaiken tämän alle tulee kapillaarikatko, kapillaarisoralla (500 mm) jolla pyritään estämään veden kapillaarinen nousu [17, s. 7–8]. Lattia tulee olemaan tasoitettu pintavalu, jolla pyritään samaan helposti kunnossapidettävä ja siivottava lattia. Toimistojen ja sosiaali tilojen lattiat voidaan esimerkiksi tulla tekemään laatoilla, jolla saadaan noihin tiloihin silmälle mukavampaa ulkonäköä.

4.4.2 Yläpohja

Kattorakenteen ollessa puiset kattotuolit k900:n jaolla. Katon alapintaan tulee Gyproc-levyt, jotka saadaan maalattua sitten mieluisan väriseksi ja ovat paloturvalliset samalla [14]. Levyjen asennusta varten kattotuolien alle asennetaan 25x100 ruoteet k300 jaolla [15]. Lämmöneristeeksi yläpohjaan tulee 400 mm puhallusvillaa, joka on nopea ja helppo vaihtoehto eristeeksi.

4.4.3 Vesikatto

Katon rakenteeksi valitsin siis valmispuupulpettiristikot, joiden kantavuudet tulevat suoraan niiden valmistajalta. Ristikoiden valmistaja voidaan selvittää myöhemmin tarjouskilpailulla. Katon pintamateriaaliksi valittiin profiilipeltikate, helpon asennuksen ja helpomman lumenpoiston takia. Pulpettikaton muodon avulla lumet ja sadevedet johdatetaan takapihalle, jossa ne eivät tule peittämään sisäänkäyntejä. Peltikatteen alle kattotuoleja vasten tulee aluskate, jolla saadaan johdatettua mahdolliset peltikatteen läpi vuotaneet vedet tarpeeksi kauaksi ulkoseinien ohi [17, s. 12–13].

Aluskatteen ja pellin väliin on varmistettava riittävä ilmankiertävyys, joka saavutetaan aluskatteen päälle tulevalla 25x50 rimoituksella, jotka asetetaan kattotuolien suuntaisesti, kattotuolien kohtaan. Peltikatteen asennusta varten rimoituksen päälle tulee 25x100 ruoteet, peltikatteen valmistajan määräämällä välillä. [16, s. 12–13.]

4.4.4 Ulkoseinät

Ulkoseiniksi tulee betoni-eriste-betonielementti, joka on kokonaispaksuudeltaan 360 mm (100 mm – 180 mm – 80 mm), jolla saavutetaan vaadittava lämmöneristävyys [3]. Kyseinen ulkoseinätyyppi on yleinen hallirakennuksissa etenkin, kun valittiin rungoksi betonipilarit. Julkisivustakin saadaan yksilöllisen näköisen erilaisilla elementin pintakäsittelyillä, kuten graafisella betonilla (kuva 8).



kuva 8. Graafinen betoni julkisivuna [12].

5 Rakenneosien mitoitus

5.1 Tavoite

Rakennesuunnittelussa on päätavoitteena mitoittaa rakenne mahdollisimman taloudellisesti, mutta samalla siten että se kestää käyttökelpoisena käyttöikänsä ajan. Rakenteen tulee kestää kaikki kuormat ja vaikutukset, joita sille käyttöiän aikana tulee ja samalla pysyä kestäväenä ja käyttökelpoisena. [19, s. 44.] Kaikki ihmisten turvallisuuteen tai rakenteiden varmuuteen liittyvät rajatilat tulee luokitella murtorajatilaksi [19, s. 55]. Kaikissa rajatilamitoituksessa tulee kuitenkin osoittaa, että mitään rajatilaa ei ylitetä [19, s. 56]. Näiden tavoitteiden saavuttamiseksi kaikilla rakenteilla on samanlaiset vaatimukset:

- Varmuus murtumista vastaan.
- Halkeilusta ja siirtymisestä ei ole haittaa rakenteelle.

- Rakenteen säilyvyys on varmistettu.
- Saavutetaan vaadittu palonkestävyys [13, s. 485].

Rakennesuunnittelussa otetaan huomioon etenkin kuormat ja ympäristön vaikutus rakenteelle. Pysyvät kuormat, jotka merkitään g :nä, ovat rakenteiden, kiinteiden laitteiden ja kaiken oman painon tuottamaa kuormaa. Muuttuvat kuorma, jotka merkitään q :na, ovat rakennuksen palkkeihin ja muihin kantaviin rakenteisiin kohdistuva hyötykuorma, tuulikuormat ja lumikuormat. [19, s. 58.]

5.2 Kuormat

Kuormien laskennassa on huomioitu erilaiset kuormien määriin vaikuttavat asiat esimerkiksi rakennuksen sijainti maantieteellisesti [9, s. 10]. Rakennuksen rakennuspaikaksi oletetaan Outokumpu tai sen lähialue, joten kuormitukset on katsottu sen mukaan. Laskut tehdään eurokoodien määräysten mukaisesti [9, s. 10].

Kyseisessä opinnäytetyössä on mitoitettu vain betonipilarit ja teräspalkit. Pilareiden perustuksia ei voitu laskea, koska tarkkaa rakennuspaikkaa ei ole tiedossa, joten ei tiedetä millainen maa-aines rakennuspaikalla on. Oletetaan kuitenkin, että anturat ovat 2,4 m x 2,0 m x 0,8 m, jotka oletetusti ovat tarpeeksi suuret. Kattoristikoiden tullessa valmiina, ristikoiden valmistajan on helppo ja nopea laskea niiden kestävyudet, kun hallin koko tiedetään.

5.2.1 Lumikuorma

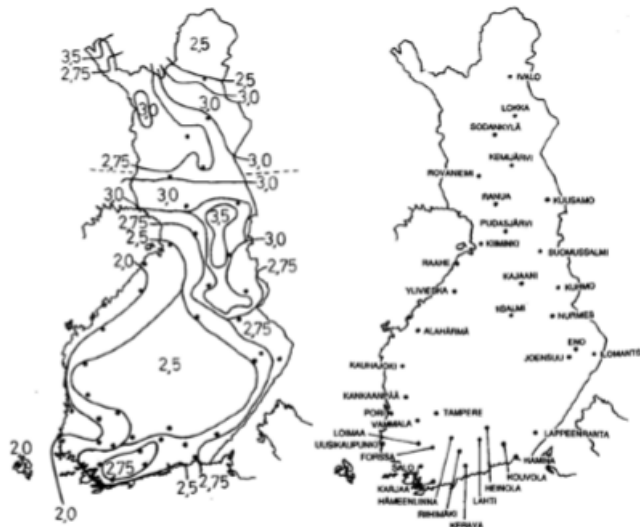
Maapinnan lumikuormien laskennallinen arvo on valittu Outokummun seudun lumikuormalla, joka on 2,5 kN/m² (kuva 9). Laskuja varten tuo lumikuorma täytyy muuttaa maapinnan lumikuormasta kattokuormaksi, muutos tehdään kertomalla maapinnan lumikuorma muotokertoimella (μ). Kyseinen muotokerroin määräytyy katon muodosta, joka tässä työssä on pulpettikatto, joten μ :ksi saatiin 0,8. [9, s. 11–12.] Katon lumikuormaksi kokonaisuudessaan saadaan siis kaavan 1 mukaan 2,0 kN/m².

$$q_k = \mu * q = 0,8 * 2,5 \text{ kN/m}^2 = 2,0 \text{ kN/m}^2. \quad (1)$$

jossa

μ = Lumikuorman muotokerroin

q = Lumikuorma maassa Outokummussa



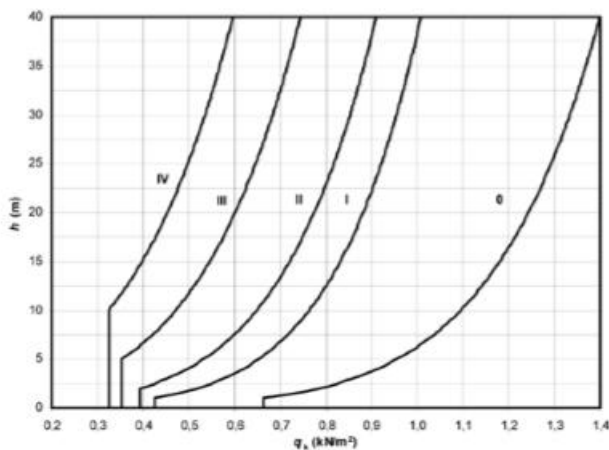
Kuva 9. Maapinnan lumikuorman laskennalliset arvot [9, s. 10].

5.2.2 Tuulikuorma

Tuulikuormat on laskettu yksinkertaisella menetelmällä (liite 3), joka on selvitetty pdf-julkaisussa Puurakenteiden suunnittelu – Lyhennetty suunnitteluohje. [9, s. 12]. Tuulikuormaan vaikuttaa rakennuksen sijainnin maastoluokka, jonka tässä oletetaan olevan luokka III eli esikaupunki- tai teollisuusalueet sekä metsät. Maastoluokan ja rakennuksen korkeuden avulla, joka tässä rakennuksessa on maksimissaan 6,5 m saadaan selvitettyä lyhennetyn suunnitteluohjeen kuvan 2.4 avulla tuulen nopeuspaineen ominaisarvo $q_k(h)$. [9, s. 13.] Katon muodon ollessa pulpettikatto voimakertoimeksi c_f , saadaan lyhennetyn suunnitteluohjeen taulukosta 2.3 arvo 1,5 (kuva 10).

Kuvaus	c_f
Umpinainen rakennus yleensä	1,3
Pulpettikattoinen umpinainen rakennus tarkasteltaessa kattolapteen suuntaista tuulta, kun katon kaltevuus on 5°...40° (toisessa suunnassa $c_f = 1,3$)	1,5
Osittain avoin rakennus, kun tuulen puoleisella sivulla olevien aukkojen pinta-ala on enintään 30 % rakennuksen ulkoseinien kokonaispinta-alasta.	1,6
Erillinen seinämä	2,1

Taulukko 2.3 - Yksinkertaistetussa menettelyssä käytettäviä voimakertoimia c_f .



Kuva 2.4 - Nopeuspaineen ominaisarvot $q_k(h)$ eri maastoluokissa.

Kuva 10. Lyhennetyn suunnitteluohjeen apu tuulikuorman mitoitukseen [9, s. 13].

5.3 Betonipilarit

Rakennuksen kaikki kantavat pilarit toteutetaan samantyyppisillä pilareilla, joten on tehty vain yksi kestävyyslaskelma. Laskelmissa pilareiden pituutena on käytetty maksimi pituutta eli tässä tapauksessa 6500 mm. Pilarien kooksi valitsin 480 x 480 mm ja betoniluokaksi K40 [13, s. 489]. Mitoitus suoritettiin eurokoodin EN

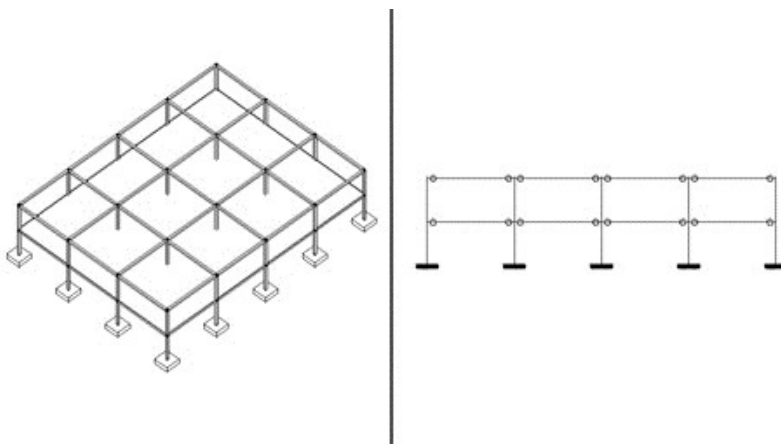
1992 mukaisesti [1]. Pilareiden laskuissa otettiin huomioon kaikki erilaiset kuormitusyhdistelmät, jotka käyvät ilmi laskelmissa (liite 3). Laskelmissa pilareiden raudoitukseksi päädyttiin harjateräksiin A500HW, 8 T20 ja haat T8 k300. Betonipilareiden laskelmat löytyvät liite 3:sta.

5.4 Teräspalkit

Rakennuksessa kaikki teräspalkit ovat samanlaisia, jänneväliltään 9000 mm, näin ollen vain yhden kestävyyslaskelmat tulevat riittämään. Laskentakohdaksi tullaan valitsemaan oletetusti rasitetuin kohta. Laskuissa taipuman mitoitusarvona käytetään $L/300$, joka saatiin SFS-EN 1993-1-1 taulukosta 5,1 [19, s. 34]. Palkeiksi lopuksi valittiin S355 teräsluokka ja HEA360-poikkileikkaus. Teräspalkkien laskelmat löytyvät liite 2:sta.

5.5 Jäykistys

Tässä opinnäytetyössä ei ole huomioitu rakennuksen jäykistämistä, mutta kuitenkin halusin mainita siitä hiukan teoriana. Rakennuksen jäykistämisen ideana on, että rakennuksen vaakasuuntaiset kuormat viedään hallitusti perustuksille, esim. tuulesta tulevat voimat. Rakennuksen jäykistämiseen on monia vaihtoehtoja. Tämän kaltaisen rakennuksen jäykistämiseen yleisin vaihtoehto on mastopilarijäykistys, jossa pilarit ovat mastopilareita ja ovat jäykästi kiinnitettynä perustuksiin (kuva 11). Vaakasuuntaiset kuormat siirretään pilareille ulkoseinärakenteilla ja tasorakenteiden kautta. [2.]



Kuva 11. Periaate mastopilarijäykistyksessä [9].

6 Yhteenveto tuloksista

Laskelmien valmistuttua palkiksi täytyi valita vähintään HEA360, joka yllätti itseni, että kuinka suurikokoinen sen täytyi olla kestääkseen sille tulevat kuormat. Betonipilarin lopulliseksi kooksi jätiin 480 mm x 480 mm, joka on yksi suositeltavista pilari koista, joten en lähtenyt sitä sen enempää muuntelemaan. Teräksiksi pilariin laskujen jäljestä valitsin 12 T25, tämä tulos itsessään ei ollut yllättävä, kyseisen kokoiset teräkset ovat aika yleisiä betonipilareissa.

7 Pohdinta

Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin hallirakennus, jossa on sosiaalitilat, 2 kpl toimistoja, pieni näyttelytila, autotalli, työpaja, mahdollinen käyttöullakko, kylmä- ja lämminvarasto. Aihe oli kaikin puolin mieleinen, koska olen suuntautunut opiskeluissa suunnittelupuolelle. Työn alkoi keskustelulla toimeksiantajan kanssa hänen haluamistaan ominaisuuksista, joiden selvittyä aloin pyöritellä alustavaa suunnitelmaa paperilla. Mieluisen mielikuvan saatuaani rakennuksesta piirsin rakennuspiirroksat rakennuksesta AutoCad-ohjelmalla, tässä vaiheessa en törmännyt vielä suuriin ongelmiin.

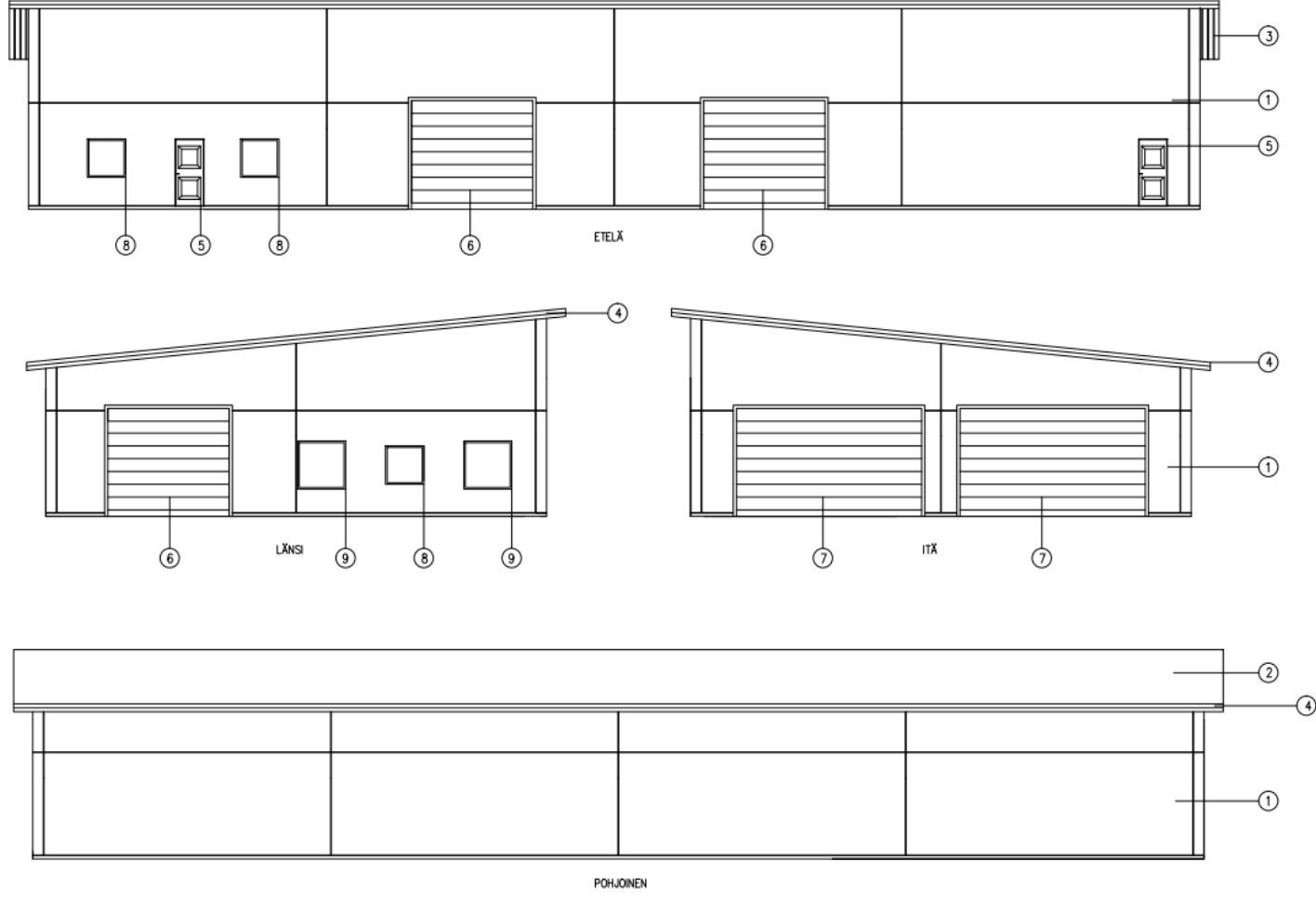
Kuvien valmistuttua oli aika tehdä rakennelaskelmat. Betonipilareiden laskenta piti olla aika yksinkertaista, kun sitä oli käyty jonkun verran aiemminkin koulussa, mutta silti kohtasin uusia ongelmia. Aluksi tein laskelmat Suomen normien mukaan, jotka eivät sitten sopineet yhteen teräspalkkien laskelmien kanssa, joten pilareiden laskuja tuli korjattua useamman kerran. Alkuperäisissä suunnitelmissa katon rakenteena ei ollut puiset kattotuolit ja teräspalkit vaan, että rakennuksen pulpettikatto olisi tullut myös betonista. Pitkän tutkinnan jälkeen en löytänyt mitään tarkkaa tietoa niiden valmistuksesta tai vahvuuksista, joten päätin hylätä idean. Onni onnettomuudessa puiset kattotuolit loivat lopulliseen rakennukseen mukavan yksityiskohdan ulkonäköön. Teräspalkkien kestävyyslaskelmissa, ei lopuksi ilmennyt suurempia ongelmia.

Opinnäytetyössä opin paljon erilaisista betoni- ja teräsrakenteista ja rakennusratkaisuista hallirakennuksissa, miten sama asia voidaan tehdä monella eri tavalla. Laskelmien ja lupapiirustuksien teossakin tuli opittua paljon uutta, etenkin tarkkuuta työnteossa.

Lähteet

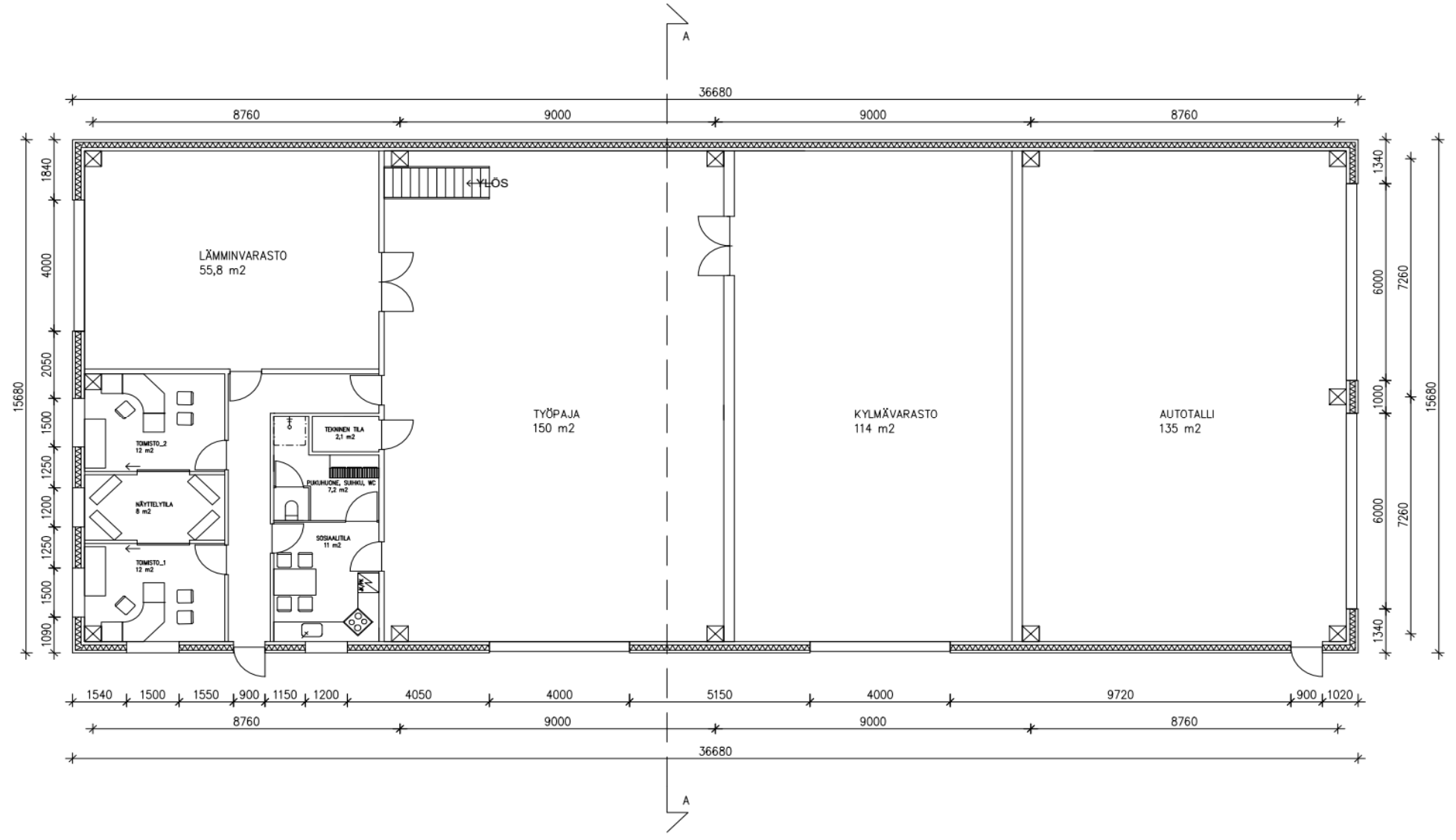
1. Betoniteollisuus ry. Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan. Osa 5. Pilarit. Elementtisuunnittelu.fi. 2009.
http://www.eurocodes.fi/1992/paasivu1992/sahkoinen1992/Leaflet_5_Pilarit.pdf. Hakupäivä: 28.4.2016
2. Betoniteollisuus ry. Jäykistysjärjestelmät. Elementtisuunnittelu.fi. 2010
<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/rakennejarjestelmat/rakennuksen-jaykistys/jaykistysjarjestelmat>. Hakupäivä: 21.4.2016.
3. Betoniteollisuus ry. Lämpö- ja kosteustekniikka. Elementtisuunnittelu.fi. 210
<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/julkisivut/lampo-ja-kosteustekniikka>. Hakupäivä: 5.4.2016.
4. Betoniteollisuus ry. Runkorakenteet. Elementtisuunnittelu.fi. 2010
http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/22592/Runkorakenteet_9%203%202010.pdf. Hakupäivä: 4.4.2016.
5. Betoniteollisuus Ry. Teräsbetonisen mastopilarin palomitoitusohje. Elementtisuunnittelu.fi. 2008.
http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23145/Mastopilari_palomitoitusohje_2008_5%5B1%5D.pdf. Hakupäivä: 28.4.2016.
6. Elme Metal. Teräsrakenteet. Elme Metal Blat Grupp. 2016
<http://www.elmemetall.fi/terasrakenteet>. Hakupäivä: 23.3.2016
7. Harinen, M. 2015. Betonirakenteiden suunnittelu 3. Rakennustekniikan koulutusohjelma.
Luentomuistiinpanot. Hakupäivä: 28.4.2016
8. Puuinfo. Puuhallin suunnittelu. 2009
<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohteet/puuhallin-suunnittelu-esisuunnittelu-ja-arkkitehtoniset-valinnat/puuhallin-suunnittelu-090202www.pdf>.
Hakupäivä: 29.2.2016.
9. Puuinfo. Puurakenteiden suunnittelu, lyhennetty suunnitteluohje. Eurokoodi 5. 2010.
http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/eurokoodi-5-lyhennetty-ohje-puurakenteiden-suunnittelu/eurokoodi-5-lyhennetty-ohje-puurakenteiden-suunnittelu/eurokoodi5lyhennettysuunnitteluohjewewwwkolmaspainos10913rillin_korjauksin.pdf. Hakupäivä: 29.2.2016.
10. Rakennustieto Oy. RT-net. Kortistot. RT 10-10387. Rakennushankkeen kulku. 1989.
https://www.rakennustietokauppa.fi/rt-10-10387-talonrakennushankkeen-kulku/RT_180/dp. Hakupäivä: 21.4.2016
11. Rakennustieto Oy. RT-net. Kortistot. RT 85-10495. Puuristikot ja -kehät. 1989.
https://www.rakennustietokauppa.fi/rt-10-10387-talonrakennushankkeen-kulku/RT_180/dp. Hakupäivä: 21.4.2016
12. Rudus. Julkisivuelementit ovat rakennuksen kasvot. Rudus Oy. 2016
<http://www.rudus.fi/tuotteet/julkisivuelementit>.
Hakupäivä: 21.4.2016
13. Saarinen, E. 2000. Betonirakenteiden suunnittelu. Rakentajain Kalenteri. 2016.
<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK010302.pdf>.
Hakupäivä: 3.3.2016.

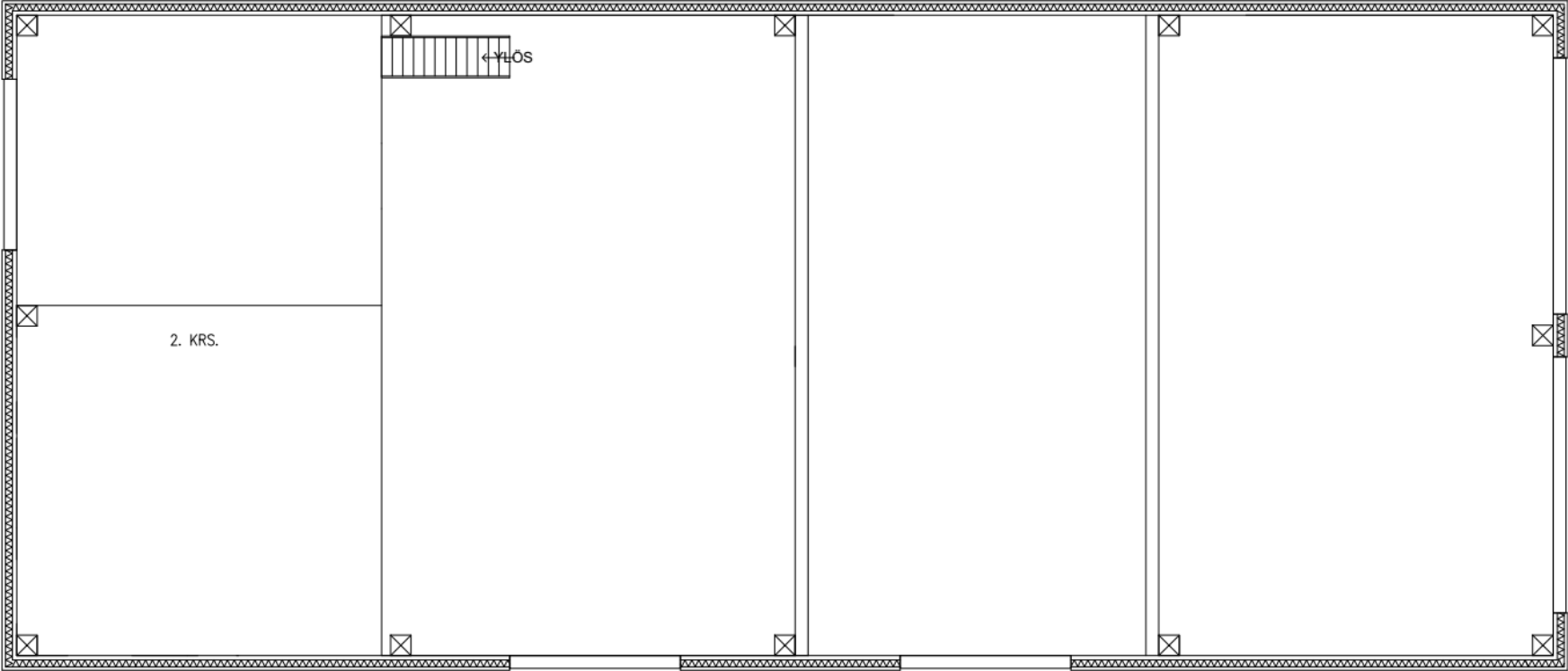
14. Saint-Gobain rakennustuotteet Oy, Gyproc. Gyproc sisäkatot. 2011.
<http://www.gyproc.fi/ratkaisut/sisakatot/gyproc-sisakatot>.
Hakupäivä: 5.4.2016.
15. Saint-Gobain rakennustuotteet Oy, Gyproc. Kattoasennus. 2011.
<http://www.gyproc.fi/toteutus/asennusohjeet/puurunkoseinat-jakatot-/kattoasennus>. Hakupäivä: 5.4.2016.
16. Seppo Niemioja. Rakennushankkeen vaiheet ja osapuolet. ArkitData. 2003.
http://arkit.tkk.fi/kurssit/A91181/rakennushankkeen_vaiheet.htm.
Hakupäivä: 21.4.2016
17. Suomen rakentamismääräyskokoelma C2. Kosteus. Ympäristöministeri.
1998
<http://www.finlex.fi/data/normit/1918-c2.pdf>. Hakupäivä: 6.4.2016.
18. Suomen standardisoimisliitto SFS Ry. SFS-EN 1990+A1+AC
Rakenteiden suunnitteluperusteet.
<http://www.sfs.fi/aihealueet/eurokoodit/julkaisut>.
Hakupäivä: 21.4.2016.
19. Suomen standardisoimisliitto SFS Ry. SFS-EN 1993-1-1. Teräsrakenteiden
suunnittelu. Osa 1 – 1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat
säännöt. 2014.
<http://www.sfs.fi/aihealueet/eurokoodit/julkaisut>.
Hakupäivä: 23.3.2016
20. Väisänen Päivi. Teräs, perustietoa arkkitehtiopiskelijoille. 2007.
http://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/40/66e53a5/Teras_web.pdf. Hakupäivä: 21.4.2016

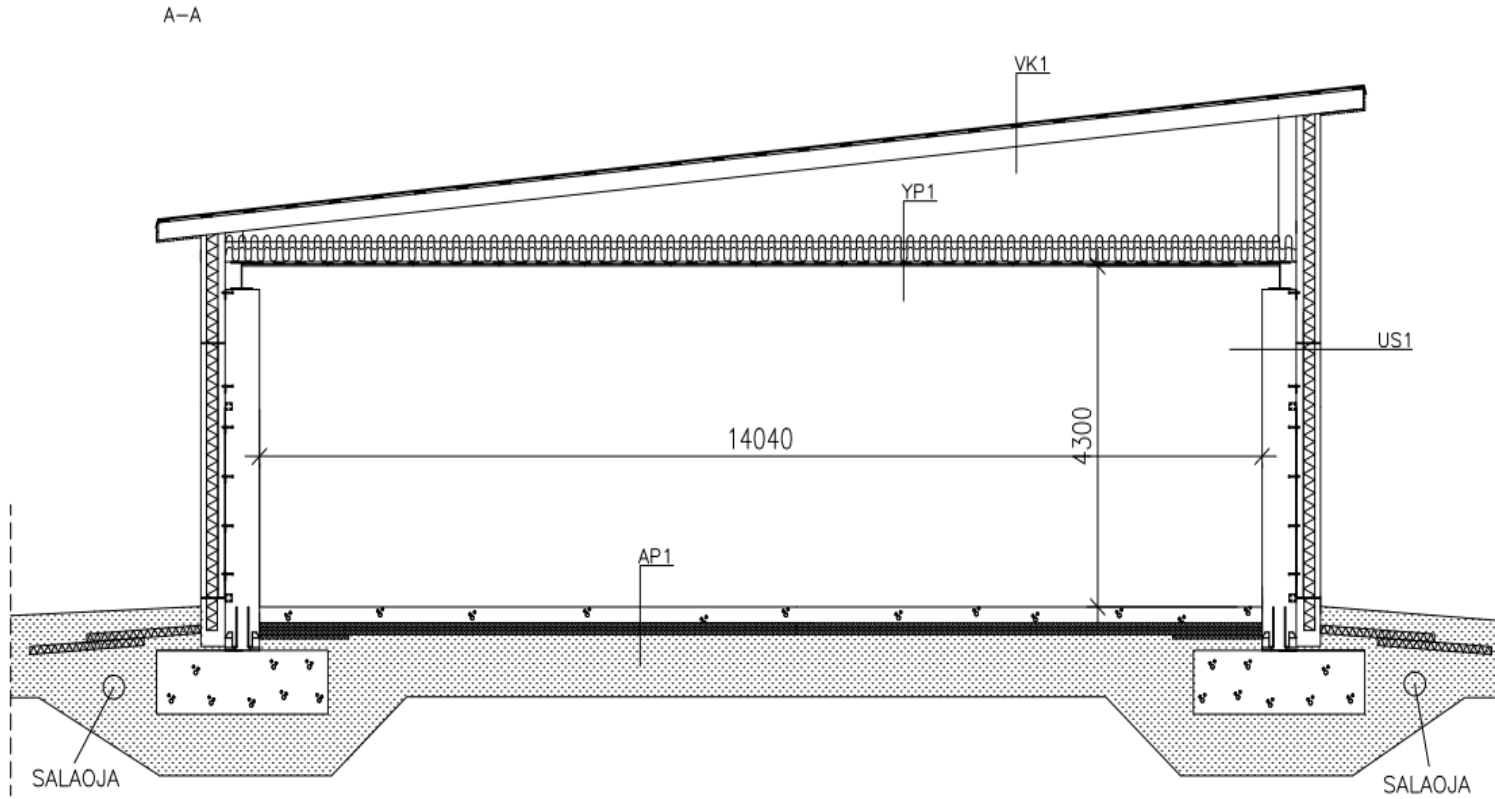


- 1 Betonielementti, harmaa
- 2 Peltikate, musta
- 3 Rästäsäluslauta, valkoinen
- 4 Rästäsälauta, valkoinen
- 5 Ulko-ovi, valkoinen, M9

- 8 Ikkuna, valkoinen, M12x12
- 9 Ikkuna, valkoinen, M15X15







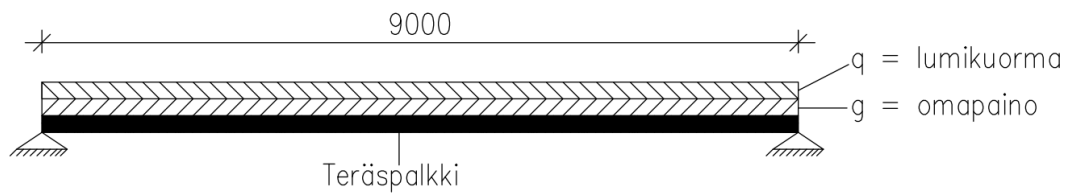
VK1	
-	1 Peltikate
32mm	2 Kattoruotteet 32x100, k450
25mm	3 Rima 25x50
-	4 Aluskate
~300mm	5 NR-Kattoristikko, k900

YP1	
400mm	1 Puhallusvilla 400mm
-	2 Höyrysulku
25mm	3 Ruotteet 25x100, k300
13mm	4 Gyproc, 13mm

AP1	
-	1 Pinnoite
200mm	2 Teräsbetoni, 200mm, C25
150mm	3 Lämmöneriste Styrox 150mm / reunoilla 200mm
~500mm	4 Kapillaarisora

US1	
340mm	1 Betonielementti Betoni + Eriste + Betoni, 340mm
480mm	2 Betonipilarirunko, 480x480

Teräspalkin laskelmat [19]



Omapaino

$$g_k = g_{\text{palkki}} + g_{\text{katto}} = 1,12 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 4,05 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 5,17 \text{ kN/m}$$

$$- g_{\text{palkki}} = \text{HEA360 Paino} = 1,12 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\bullet g_{\text{katto}} = 0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 8,1\text{m} = 4,05 \text{ kN/m}$$

$$\bullet \text{Kattoristikon paino} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

Palkkia vaikuttava katon pituus, puolet rakennuksen leveydestä + räystäs = 7,5m + 0,6m = 8,1m = L_k

Lumikuorma

$$q_{kt} = L_k * q_k = 8,1 * 2,0 = 16,2 \text{ kN/m}$$

$$\bullet q_k = \text{Lumen paino katolla} = \mu * q = 0,8 * 2,5 = 2,0 \text{ kN/m}$$

$$\circ \mu = \text{katon muotokerroin} = 0,8$$

$$\circ q = \text{Lumen paino maassa Oulokummussa} = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

Kuormat yhdistettynä.

$$p_d = 1,15 * g_k + 1,5 * q_{kt} = 1,15 * 5,17 + 1,5 * 16,2 = 30,25 \text{ kN/m}$$

Momentti

$$M_{ed} = \frac{p_d * L^2}{8} = \frac{30,25 * 9^2}{8} = 306,24 \text{ kNm}$$

Leikkaus

$$V_{ed} = \frac{v_d \cdot L}{2} = \frac{30,25 \cdot 9}{2} = 136,10 \text{ kN}$$

Teräs

Käytettävä teräslaatu: S355 [19, s. 26]

- $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{355}{1} = 355$
 - Myötölujuus $f_y = 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
 - Osavarmuustekijä $\gamma_{M0} = 1$ [19, s. 48.]

Paikallisen leikkausjännityksen mitoitusarvo [19, s. 55.]

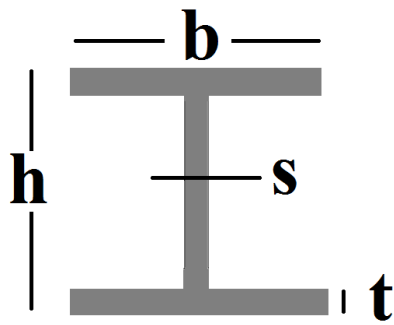
$$\tau_d = \frac{f_{yd}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{355}{\sqrt{3} \cdot 1} = 204,96 \text{ N/mm}^2$$

$$\delta = \frac{M}{W} \Rightarrow W = \frac{M}{\delta} \Rightarrow W = \frac{M_{ed}}{f_{yd}} = \frac{306,24 \cdot 10^6}{355} = 863 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

>> Valitaan I-profiilitaulukosta palkki. (Liite 4)

$$\Rightarrow \text{HEA360: } 1891 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 > 863 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

- $I = 33090 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$
- $E = 210000 \text{ N/mm}^2$ (kimmokerroin)
- $h = 350 \text{ mm}$
- $b = 300 \text{ mm}$
- $s = 10 \text{ mm}$
- $t = 17,5 \text{ mm}$
- $r = 27 \text{ mm}$
- Paino: 112 kg/m



Kuva 12. HEA-palkki.

(5) I- ja H- profiileilla uuman leikkausjännitys voidaan laskea kaavasta:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w} \quad \text{kun } A_f / A_w \geq 0,6$$

missä A_f on yhden laipan pinta-ala;

A_w on uuman pinta-ala: $A_w = h_w t_w$.

[19, s. 55]

$$A_f = b * t = 300 * 17,5 = 5250 \text{ mm}^2$$

$$A_w = (h - 2 * t) * s = (350 - 2 * 17,5) * 10 = 3150 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_f}{A_w} = \frac{5250}{3150} = 1,667 > 0,6$$

OK

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w} = \frac{136,1 * 1000}{3150} = 43,21 \text{ N/mm}^2 < \tau_{Ed} = 204,96 \text{ N/mm}^2$$

OK

Taipuma

Kuormat: $P_k = g_k + q_L = 5,17 + 16,2 = 21,37 \text{ kN/m}$

Pääkannattajat: $\frac{L}{300} = \frac{9 * 1000}{300} = 30 \text{ mm}$.

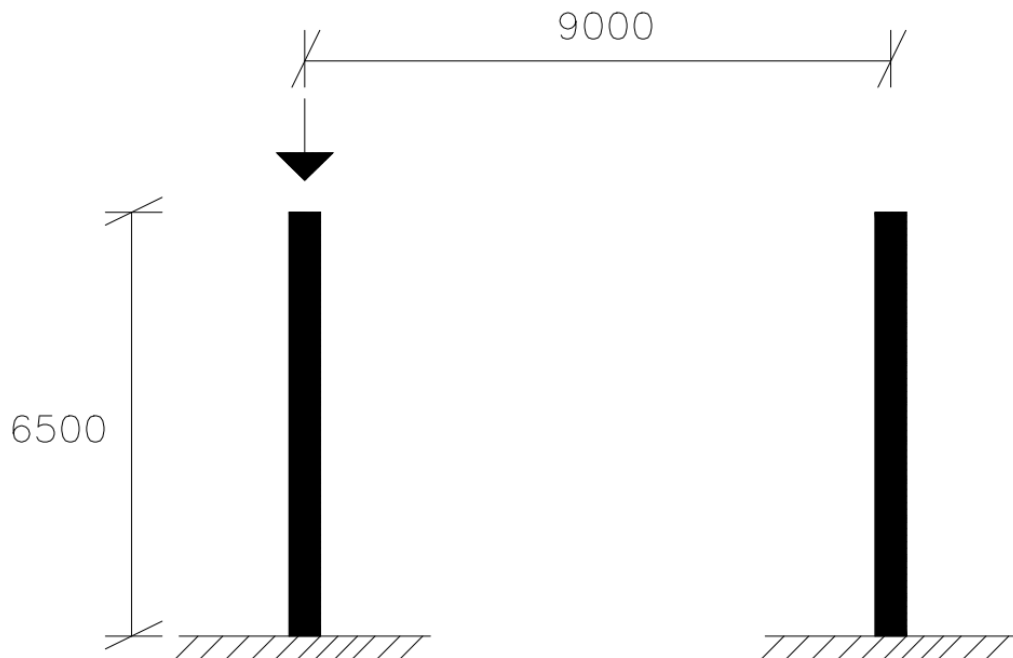
$$f = \frac{5 * P_k * L^4}{384 * I * E} = \frac{5 * 21,37 * (9 * 1000)^4}{384 * 33090 * 10^4 * 210000} = 26,27 \text{ mm} < 30 \text{ mm}$$

OK

Betonipilarin laskelmat.

Alustavasti valittu pilari on $h \times b = 480 \times 480 \text{ mm}$

Betoni K40, $f_{cd} = 20,7$, $f_{yd} = 455$ [13, s. 489]



Omapaino

$$N_g = g_{palkki} + g_{katto} = 10,08 \text{ kN} + 36,45 \text{ kN} = 46,53 \text{ kN}$$

- $g_{palkki} = \text{HEA360 paino} = 1,12 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 9 \text{ m} = 10,08 \text{ kN}$
- $g_{katto} = 0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 8,1 \text{ m} * 9 \text{ m} = 36,45 \text{ kN}$
- $\text{Kattoristikon paino} = 0,5 \text{ kN/m}^2$

$$L_k = 7,5 \text{ m} + 0,6 \text{ m} = 8,1 \text{ m} =$$

Palkkia vaikuttava katon pituus, puolet rakemuksen leveydestä + räystäs

$$L_v = 9 \text{ m} =$$

pilarien väli, eli puolet molempien puolien palkeista kuormittaa yhtä pilaria

Lumikuorma.

$$N_{q_l} = L_v * L_k * q_k = 9 * 8,1 * 2,0 = 145,8 \text{ kN}$$

- $q_k = \text{Lumen paino katolla} = \mu * q = 0,8 * 2,5 = 2,0 \text{ kN/m}^2$
 - $\mu = \text{katon muotokerroin} = 0,8$
 - $q = \text{Lumen paino maassa Outokummussa} = 2,5 \text{ kN/m}^2$

Mitoittava tuulenpaine. [9, s.12].

$$F_{k,tuuli} = c_f * L_v * q_{k(h)} * 1,1 = 1,5 * 9 * 0,35 * 1,1 = 5,20 \text{ kN/m}$$

- $c_f = \text{Voimakerroin, pulpettikatto} = 1,5$
- $q_{k(h)} = \text{Tuulen nopeuspaine} = 0,35 \text{ kN/m}^2$
- $\text{Yli } 10\text{m}^2 \text{ puhallusala} = \text{kerroin } 1,1$

Pilarikuorma (pilarin oma kuorma + hyötykuorma) [13, s. 489].

$$N_{gk} = 25 * L * h^2 + Ng = 25 * 6,5 * \left(\frac{480}{1000}\right)^2 + 46,53 = 83,97 \text{ kN}$$

- $H = \text{Pilarin max. korkeus} = 6,5 \text{ m}$
- $h = \text{Pilarin stvumitta} = 480 \text{ mm}$
- $\text{Teräsbetonin paino} = 25 \text{ kN/m}^2$

Pystykuormat kokonaisuudessaan

$$N_k = 83,97 + 145,8 = 229,77 \text{ kN}$$

Pistekuorma pilarille (vaakavoima) [7].

$$E F_k = F_{k,tuuli} + \frac{N_d}{150} = 5,18 + \frac{229,77}{150} = 6,73 \text{ kN}$$

Vaakavoimat [7]

$$q_1 = 1,5 * 0,8 * c_f * q_{k(h)} * L_v = 1,5 * 0,8 * 1,5 * 0,35 * 9 = 5,67 \frac{kN}{m}$$

$$q_2 = 1,5 * 0,5 * c_f * q_{k(h)} * L_v = 1,5 * 0,5 * 1,5 * 0,35 * 9 = 3,54 \frac{kN}{m}$$

Tuulesta aiheutuva momentti [7]

$$M_{A1} = \frac{1}{16} * H^2 * (5 * q_1 + 3 * q_2) = \frac{1}{16} * 6,5^2 * (5 * 5,67 + 3 * 3,54) = 102,93 \text{ kNm}$$

Tuulesta aiheutuva pistemäinen kuorma [7]

$$M_{A2} = \frac{1}{2} * \Sigma F_k * H = \frac{1}{2} * 6,73 * 6,5 = 21,87 \text{ kNm}$$

Kokonaismomentti (tuuli) [7]

$$\Sigma M_A = M_{A1} * M_{A2} = 102,93 + 21,87 = 124,81 \text{ kNm}$$

Pilarin mitoitus

$$\text{Efektiivinen korkeus } L_0 = 2,2 * L = 2,2 * 6,5 = 14,3 \text{ m} = 14300 \text{ mm}$$

[13, s. 499.]

$$e_a = \frac{h}{20} + \frac{L_0}{500} = \frac{480}{20} + \frac{14300}{500} = 52,6 \text{ mm} = 0,053 \text{ m}$$

(Perusepäkeskisyyss) [13, s. 499]

$$e_2 = \frac{\lambda^2}{145} * h = \frac{103,2^2}{145} * 480 = 243,15 \text{ mm} = 0,243 \text{ m}$$

- $\lambda = \frac{L_0 * \sqrt{12}}{h} = \frac{14300 * \sqrt{12}}{480} = 103,2$

(Lisäepäkeskisyyss) [13, s. 501]

Eri kuormitustapausten tutkinta [5, s. 48]

Kuormitustapaus 1) Talvi

$$g \text{ (oma)} = 1,15$$

$$q \text{ (lumi)} = 1,5$$

$$F \text{ (tuuli)} = 0,9$$

$$N_d = 1,15 * N_{gk} + 1,5 * N_{q1} = 1,15 * 83,97 + 1,5 * 145,8 = 315,27 \text{ kN}$$

$$M_d = 0,9 * \Sigma M_d = 0,9 * 124,81 = 112,32 \text{ kNm}$$

$$e_{01} = \frac{M_d}{N_d} = \frac{112,32}{315,27} = 0,356 \text{ m}$$

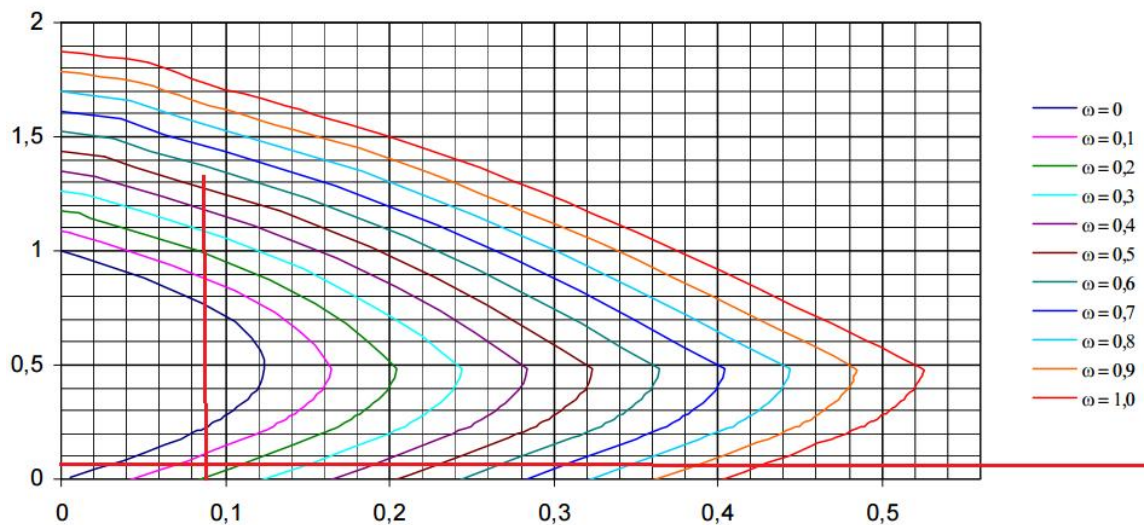
(Alkuperäinen epäkeskisyys)

$$e_d = e_a + e_2 + e_{01} = 0,053 + 0,243 + 0,356 = 0,652 \text{ m}$$

(Epäkeskisyyden laskenta-arvo) [13, s. 501]

$$v = \frac{N_d}{f_{cd} * b * h} = \frac{0,315}{20,7 * 0,48 * 0,48} = 0,066 \text{ (suhteellinen normaalivoima)}$$

$$\mu = v * \frac{e_d}{h} = 0,066 * \frac{0,652}{0,48} = 0,090 \text{ (suhteellinen momentti)}$$



=>> Käyrästä: $\omega = 0,15$ [1, s. 9].

Kuormitustapaus 2) Tuuli talvella

$$g \text{ (oma)} = 1,15$$

$$q \text{ (lumi)} = 1,05$$

$$F \text{ (tuuli)} = 1,5$$

$$N_d = 1,15 * N_{gk} + 1,05 * N_{q1} = 1,15 * 83,97 + 1,05 * 145,8 = 249,66 \text{ kN}$$

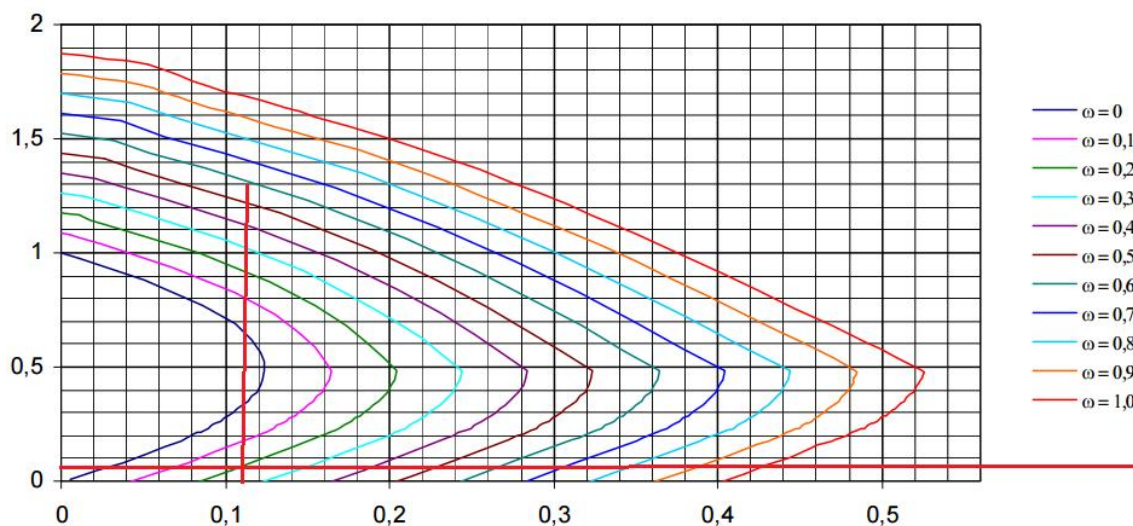
$$M_d = 1,5 * \Sigma M_A = 1,5 * 124,81 = 187,21 \text{ kNm}$$

$$e_{01} = \frac{M_d}{N_d} = \frac{187,21}{249,66} = 0,750 \text{ m}$$

$$e_d = e_a + e_2 + e_{01} = 0,053 + 0,243 + 0,750 = 1,046 \text{ m}$$

$$v = \frac{N_d}{f_{cd} * b * h} = \frac{0,250}{20,7 * 0,48 * 0,48} = 0,052$$

$$\mu = v * \frac{e_d}{h} = 0,052 * \frac{1,046}{0,48} = 0,114$$



=>> Käyrästä: $\omega = 0,20$ [1, s. 9].

Kuormitustapaus 3) Tuuli kesällä

$$g \text{ (oma)} = 0,9$$

$$q \text{ (lumi)} = 0$$

$$F \text{ (tuuli)} = 1,5$$

$$N_d = 0,9 * N_{gk} + 0 * N_{qk} = 0,9 * 83,97 + 0 * 145,8 = 75,57 \text{ kN}$$

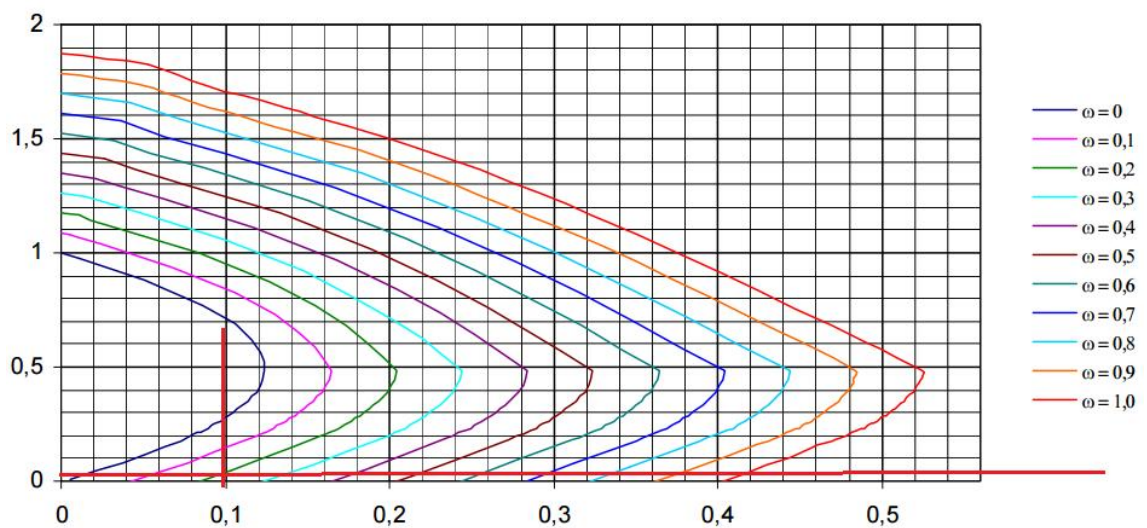
$$M_d = 1,5 * \varepsilon M_A = 1,5 * 124,81 = 187,21 \text{ kNm}$$

$$e_{01} = \frac{M_d}{N_d} = \frac{187,21}{75,57} = 2,477 \text{ m}$$

$$e_d = e_a + e_2 + e_{01} = 0,053 + 0,243 + 2,477 = 2,773 \text{ m}$$

$$v = \frac{N_d}{f_{cd} * b * h} = \frac{0,076}{20,7 + 0,48 + 0,48} = 0,016$$

$$\mu = v * \frac{e_d}{h} = 0,016 * \frac{2,773}{0,48} = 0,092$$



=>> Käyrästä: $\omega = 0,19$ [1, s. 9].

$$A_s = \frac{\omega_{max} * b * h * f_{cd}}{f_{yd}} = \frac{0,20 * 480 * 480 * 20,7}{455} = 2096,39 \text{ mm}^2$$

→ Terästaulukosta: 6 T25 (2946 mm^2) (Liite 5)

→ Kokonaisraudoitus pilarissa: 12 T25. Minimi haat T12 k300

1 HEA

Poikkeileikkausarvot

HEA	h	b	s	t	r	A_{n1}	A	g	FV	I_k	W_k	W_{sp}	l_k	I_{k1}	W_{k1}	W_{sp1}	l_k	l_v	K_{n1}	$k=(G_{11}/E_{k1})^{0.8}$
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm ²	mm ²	kg/m	1/m	mm ⁴	mm ³	mm ³	mm	mm ⁴	mm ³	mm ³	mm	mm ⁴	mm ⁶	mm ⁻¹
100	96	100	5.0	8.0	12	440	2124	16.7	264.4	349	72.8	83.0	40.6	133.8	26.76	41.14	25.1	5.24	2581	2.780
120	114	120	5.0	8.0	12	530	2534	19.9	267.4	606	106.3	119.5	48.9	230.9	38.48	58.85	30.2	5.99	6472	1.878
140	133	140	5.5	8.5	12	685	3142	24.7	252.9	1033	155.4	173.5	57.3	389.3	55.62	84.8	35.2	8.13	15064	1.434
160	152	160	6.0	9.0	15	858	3877	30.4	233.7	1673	220.1	245.1	65.7	615.6	76.9	117.6	39.8	12.19	31410	1.216
180	171	180	6.0	9.5	15	969	4525	35.5	226.3	2510	294	325	74.5	924.6	102.7	156.5	45.2	14.80	60211	0.968
200	190	200	6.5	10.0	18	1170	5383	42.3	211.0	3692	389	429	82.8	1336	133.6	203.8	49.8	20.98	108000	0.860
220	210	220	7.0	11.0	18	1393	6434	50.5	195.1	5410	515	568	91.7	1955	177.7	270.6	55.1	28.46	193266	0.749
240	230	240	7.5	12.0	21	1635	7684	60.3	178.2	7763	675	745	100.5	2769	230.7	351.7	60.0	41.55	328486	0.684
260	250	260	7.5	12.5	24	1781	8682	68.2	170.9	10455	836	920	109.7	3668	282.1	430.2	65.0	52.37	516352	0.622
280	270	280	8.0	13.0	24	2056	9726	76.4	164.8	13673	1013	1112	119	4763	340.2	518.1	70.0	62.10	785367	0.549
300	290	300	8.5	14.0	27	2346	11253	88.3	152.6	18263	1260	1383	127	6310	420.6	641	74.9	85.17	1199772	0.520
320	310	300	9.0	15.5	27	2651	12437	97.6	141.2	22929	1479	1628	136	6985	465.7	710	74.9	107.97	1512359	0.522
340	330	300	9.5	16.5	27	2978	13347	104.8	134.5	27693	1678	1850	144	7436	496	756	74.6	127.20	1824364	0.515
360	350	300	10.0	17.5	27	3325	14276	112.1	128.4	33090	1891	2088	152	7887	526	802	74.3	148.82	2176576	0.510
400	390	300	11.0	19.0	27	4081	15898	124.8	120.2	45069	2311	2562	168	8564	571	873	73.4	189.04	2942076	0.485
450	440	300	11.5	21.0	27	4819	17803	139.8	112.9	63722	2896	3216	189	9465	631	966	72.9	243.76	4147629	0.473
500	490	300	12.0	23.0	27	5604	19754	155.1	106.8	86975	3550	3949	210	10367	691	1059	72.4	309.27	5643053	0.457
550	540	300	12.5	24.0	27	6450	21176	166.2	104.3	111932	4146	4622	230	10819	721	1107	71.5	351.54	7188912	0.432
600	590	300	13.0	25.0	27	7345	22646	177.8	101.9	141208	4787	5350	250	11271	751	1156	70.5	397.81	8978203	0.411
650	640	300	13.5	26.0	27	8289	24164	189.7	99.6	175178	5474	6136	269	11724	782	1205	69.7	448.30	11027133	0.394
700	690	300	14.5	27.0	27	9614	26048	204.5	96.2	215301	6241	7032	288	12179	812	1257	68.4	513.89	13351908	0.383
800	790	300	15.0	28.0	30	11430	28583	224.4	94.4	303443	7682	8699	326	12639	843	1312	66.5	596.87	18290286	0.353
900	890	300	16.0	30.0	30	13760	32053	251.6	90.4	422075	9485	10811	363	13547	903	1414	65.0	736.77	24961500	0.335
1000	990	300	16.5	31.0	30	15924	34685	272.3	89.2	553846	11189	12824	400	14004	934	1470	63.5	822.41	32073875	0.313
						$\times 10^9$	$\times 10^9$	$\times 10^9$	$\times 10^9$	$\times 10^4$	$\times 10^3$	$\times 10^3$	$\times 10^9$	$\times 10^4$	$\times 10^3$	$\times 10^3$	$\times 10^9$	$\times 10^4$	$\times 10^6$	$\times 10^{-3}$

Merkinnät:
 A_{n1} tunnan poikkeileikkauksala B7:n taulukon 4.2 mukaan
 I_k ja I_v profiilin metriäinen, kun teräksen ominaispainoksi on oletettu 7,85 kg/dm³
 W_k ja W_{sp} jäyhyysmomentit x- ja y- akselien suhteen
 W_{k1} ja W_{sp1} plastiset taivutusvasuukset x- ja y- akselien suhteen
 l_k vaantojajäyhyysmomentti
 K_{n1} väänno- ja kierrähdysakselinssä käytettävä apusuurte

A poikkeileikkauksala
 FV suojaamattoman profiilin poikkeileikkauskestäjä palomitoituksessa
 W_k ja W_{sp} taivutusvasuukset x- ja y- akselien suhteen
 l_k ja l_v jäyhyysmomentit x- ja y- akselien suhteen
 K_{n1} käyttömuunnajäyhyysmomentti

50.3

T 8				
1	101			
151	2	151		
201	251	3	201	
251	302	352	4	251
302	352	402	452	5

78.5				
T 10				
1	157			
236	2	236		
314	3	314		
393	4	393		
471	5	471		

T 12				
113	1	226		
339	2	339		
452	3	452		
565	4	565		
1018	5	1018		

T 16				
201	1	402		
603	2	603		
804	3	804		
1005	4	1005		
1206	5	1206		

T 20				
314	1	628		
942	2	942		
1257	3	1257		
1571	4	1571		
491	5	491		

T 25				
1	982			
1473	2	1473		
1963	3	1963		
2454	4	2454		
804	5	804		

T 32				
1	1608			
2413	2	2413		
3217	3	3217		
4021	4	4021		
5630	5	5630		

Teräspinta-ala mm²/m

T \ k	50	100	150	200	250	300	350	400	500	600
6	565	283	188	141	113	94	81	71	57	47
8	1005	503	335	251	201	168	144	126	101	84
10	1571	785	524	393	314	262	224	196	157	131
12	2262	1131	754	565	452	377	323	283	226	188
16	4021	2011	1340	1005	804	670	574	503	402	335
20	6283	3142	2094	1571	1257	1047	898	785	628	524
25	9817	4909	3272	2454	1963	1636	1402	1227	982	818