



Puurakenteisen autokatoksen suunnittelu

Hannes Riikola

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2024

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Talorakennustekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Talonrakennustekniikka

RIIKOLA, HANNES:
Puurakenteisen autokatoksen suunnittelu

Opinnäytetyö 66 sivua, joista liitteitä 26 sivua
Huhtikuu 2024

Opinnäytetyössä perehdyttiin autokatoksen mitoittamisessa huomattuihin ongelmakohtiin ja etsittiin niihin ratkaisuja sekä rakennettiin laskentapohjat autokatoksen kantaville rakenteille Kotikatos firman käyttöön. Mitoitettaessa autokatoksen rakenteita oli huomattu ongelmia pääpalkkien tukipaineen kanssa ja lattiarungon värähtelyn kanssa. Ratkaisujen löytämiseksi perehdyttiin puurakenteiden mitoitusta ohjaaviin ohjeisiin.

Työssä perehdyttiin sellaiseen autokatokseen, jonka oli huomattu olleen eniten myydyin katostyyppi. Mitoituksen edetessä huomattiin ongelmat, joista oli alun perin jo tieto, että kyseisiä ongelmia voi tulla vastaan. Ongelmiin kuitenkin oli löydettävissä erilaisia ratkaisuja.

Työtä tehdessä huomattiin, että puurakenteita mitoitettaessa vastaan tuleville ongelmille löytyy lähes aina jokin ratkaisu. Esimerkiksi liimapuupalkkia mitoitettaessa erään tuen tukipainekestävyys oli liian suuri, mutta se ratkaistiin kasvattamalla tukea suuremmaksi. Joitakin mitoitusongelmia ei tarvinnut ratkaista, koska puurakentamisen ohjeista huomattiin, ettei ongelmakohtaa tarvinnut edes mitoitaa rakenteessa.

Kaikki mitoitettavat rakenteet ovat erilaisia, ja niihin voi päteä eri säännöt, joten pitää olla tarkkana mitoittaessa rakenteita. Työn lopputuloksena rakennettiin toimivat laskentapohjat puurakenteisen katoksen mitoitukseen ja ongelmakohtiin keksittiin ratkaisut.

Asiasanat: puurakenteet, rakennesuunnittelu, autokatos, liimapuu

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering
Building Construction

RIIKOLA, HANNES:
Designing a Timber-framed Car Shelter

Bachelor's thesis 66 pages, appendices 26 pages
April 2024

The objective of this thesis was to find solutions for issues encountered in the dimensioning of a car shelter, and to construct calculation templates for the load-bearing structures of car shelters for the use of a company named Kotikatos.

The thesis focused on a type of carport that had been observed to be the most popular. As the design progressed, problems which were originally known to exist were noticed, and a solution needed to be found for these problems. To solve these problems, it was needed to familiarize oneself to a timber construction guidelines.

As a result of this work calculation templates were constructed and for the issues encountered in the dimensioning were found various solutions. It can be stated that there is almost always a solution to the problems encountered when dimensioning timber structures. When dimensioning a glulam beam, for instance, one support's load-bearing capacity was too high, but a simple solution was found by merely increasing the support's size. Some of the problems encountered during dimensioning did not even require a solution because it was noticed from the timber construction guidelines that the specific problem did not even need to be examined in the structure.

Key words: wooden structures, structural dimensioning, car shelter, glulam

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	PUU RAKENNUSMATERIAALINA	7
	2.1 Puun käytön historiaa.....	7
	2.2 Puun ominaisuudet	8
	2.2.1 Sahatavara	8
	2.2.2 Liimapuu.....	9
3	POHJAA MITOITUKSELLE	12
	3.1 Kuormat	12
	3.1.1 Lumikuorma.....	12
	3.1.2 Tuulikuorma.....	14
	3.1.3 Omapaino.....	15
	3.1.4 Kuormien aikaluokat.....	16
	3.2 Mitoituskuormat.....	16
	3.3 Käyttöluokat	17
	3.4 Materiaaliominaisuudet	18
4	MITOITUS.....	21
	4.1 Lähtötiedot	21
	4.2 Kattoniskojen mitoitus	21
	4.2.1 Lähtötiedot.....	21
	4.2.2 Taivutuskestävyys	22
	4.2.3 Leikkauskestävyys.....	24
	4.2.4 Taipuma	24
	4.2.5 Tukipainekestävyys	26
	4.3 Liimapuupalkin mitoitus	27
	4.3.1 Lähtötiedot.....	27
	4.3.2 Taivutuskestävyys	28
	4.3.3 Leikkauskestävyys.....	28
	4.3.4 Taipuma	29
	4.3.5 Tukipainekestävyys	29
	4.4 Liimapuupilarin mitoitus.....	30
	4.4.1 Lähtötiedot.....	30
	4.4.2 Kuormitusyhdistelmät	31
	4.4.3 Nurjahdusmitoitus.....	31
	4.5 Lattiarungon mitoitus.....	32
	4.5.1 Lähtötiedot.....	33
	4.5.2 Taivutuskestävyys	33

4.5.3	Leikkauskestävyys.....	34
4.5.4	Taipuma	34
4.5.5	Tukipainekestävyys	34
4.5.6	Värähtely	34
4.6	Jäykistys	35
4.6.1	Lähtötiedot.....	35
4.6.2	Kuormat.....	36
4.6.3	Jäykistysseinän mitoitus	36
4.6.4	Jäykistysseinän nostetarkastelu	36
5	SUUNNITTELU.....	38
5.1	Mitoituslaskelmat.....	38
5.2	Kuvien piirtäminen.....	38
6	POHDINTA	39
	LÄHTEET.....	40
	LIITTEET	41
	Liite 1. Kattoniskan mitoitus	41
	Liite 2. Liimapuupalkin mitoitus	46
	Liite 3. Liimapuupilarin mitoitus	51
	Liite 4. Lattiarungon mitoitus	56
	Liite 5. Jäykistys	61
	Liite 6. Mallikuvat tutkitusta autokatoksesta	65

1 JOHDANTO

Itse tehtyjen laskentapohjien käyttö mitoittaessa rakenteita on hyödyksi monin eri tavoin. Varsinkin puurakentamisen mitoitukseen annettavissa ohjeissa on hieman suunnittelijan omaan tulkintaan perustuvia asioita, joita ei valmiissa mitoitushjelmassa ehkä muista huomioida. Valmiiksi rakennetuilla laskentapohjilla on mitoitus helpompaa, kun on valmiiksi mietitty tarvittavat asiat laskentaa varten.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään Kotikatos nimisen yrityksen puurakenteisten autokatosten suunnittelua. Opinnäytetyön tavoitteena on rakentaa erityyppisiin autokatoksiin sopivat laskentapohjat autokatoksen kantaville rakenneosille, sekä perehtyä mahdollisiin mitoituksessa tuleviin ongelmiin.

Tässä työssä pohjana mitoille ja kuormille käytetään autokatostyyppiä, jonka on huomattu olevan suosituin. Tarkoituksena kuitenkin se, että ei perehdytä vain yhteen tiettyyn katokseen, vaan tehdään laskentapohjat siten, että niitä voi käyttää muunkin tyyppisissä katoksissa.

Koska kyseessä on puurakenteinen autokatos, käytetään mitoituksessa pohjana puulle tehtyä eurokoodi 5 ohjetta, joka pohjautuu RIL 205-1-2017 puurakenteiden suunnitteluohjeeseen ja RIL 205-2-2019 puurakenteiden palomitoitus kirjaan. Palomitoitukseen ei tässä työssä oteta kantaa ollenkaan, joten sitä osiota ei eurokoodi 5 ohjeesta käytetä.

Laskentapohjat tehdään PTC Mathcad Prime 9.0.0.0 ohjelmalla. Eniten työssä keskitytään laskentapohjien tekemiseen, mutta mahdolliset havainnollistavat kuvat ja muut piirustukset tehdään AutoCAD 2023 ohjelmalla.

Työn loppupuolella käydään läpi laskentapohjien tuloksia ja niiden käyttöä. Autokatoksen lupakuvien ja rakennekuvien piirtäminen jätetään pienemmälle huomiolle, mutta siitä kerrotaan hieman työn lopussa

2 PUU RAKENNUSMATERIAALINA

2.1 Puun käytön historiaa

Puuta on käytetty rakennusmateriaalina jo monia tuhansia vuosia. On luultavasti mahdotonta määritellä, milloin puuta on alettu ensimmäisen kerran käyttämään rakentamisessa mukana, mutta puu on ollut ensimmäisiä rakennusmateriaaleja kiven ja saven kanssa. (Thermory. 2024.)

Tämän hetken tietojen mukaan maailman vanhin puurakennus on Hōryū-ji temp-
peli japanissa. Kyseinen temppeli on rakennettu vuonna 607. (Japan-guide.com.)



KUVA 1. Puurakenteinen Hōryū-ji temppeli japanissa (Japan-guide.com)

Nykyään puun käsittely ja jalostaminen on kehittynyt niin paljon, että puuta voidaan käyttää lähes missä vain ja mihin vain tarkoitukseen rakentamisessa. Puu on uusiutuva rakennusmateriaali ja sen koetaan olevan ympäristöystävällisempää kuin muut rakennusmateriaalit, joten näinä aikoina, kun ilmaston koetaan olevan tärkeä asia, on puun käyttö kasvattanut suosiota kaikkialla. (Thermory. 2024.)

2.2 Puun ominaisuudet

Tässä työssä perehdyttäviin autokatoksiin kantava runko rakennetaan liimapuu-palkeista ja liimapuupilareista. Palkkien päälle kattorakenteessa käytetään sahatavara materiaalia kantavana rakenteena. Myös varasto-osassa, joka autokatoksen kylkeen yleensä tehdään, käytetään sahatavaraa runkomateriaalina. Sahatavaralla ja liimapuulla on erilaiset ominaisuudet toisiinsa nähden, ja ne sopeutuvat eri paikkoihin rakentaessa.

2.2.1 Sahatavara

Sahatavaraa käytetään paljon rakentamisessa, koska se on edullista ja sitä on helppo työstää. Puusta saa tehtyä todella monenlaista sahatavaramateriaalia ja erilaisia lujuuksia on myös sahatavaralle määritetty.

TAULUKKO 1. Standardin EN 338 mukaiset sahatavaran lujuusluokat (Puuinfo Oy, 2020)


Kaikki lujuusluokat	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Suomessa yleisimmät lujuusluokat			X			X		X	X	X		

Taulukosta 1 nähdään, että sahatavaralujuusluokkia on monia, mutta luokka C24 on ylivoimaisesti yleisin sahatavaraluokka, jota Suomessa käytetään. Puutavara-liikkeissä varastoitava sahatavara on aina C24 lujuusluokkaa, eikä muita lujuusluokkia saa muuten kuin tilaamalla erikseen (Puuinfo Oy, 2020a). Kaikki sahatavara, jota työssä tutkittavissa autokatoksissa käytetään, on lujuusluokkaa C24.

TAULUKKO 2. Mitallistetun sahatavaran yleisimmät poikkileikkausmitat (Puuinfo Oy, 2020)

Paksuus (mm)	Leveys (mm)												
	48	66	73	95	98	120	123	145	148	173	198	223	248
20 ¹⁾													
42													
48													

¹⁾ hienosahattu pinta

	= vakiokoko
	= harvemmin tuotettava koko

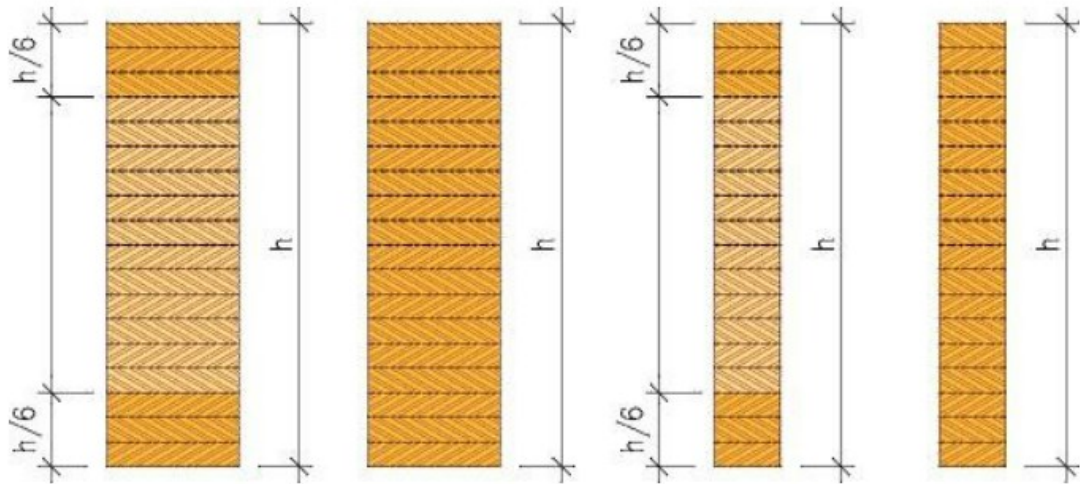
Puuta saadaan sahattua monin eri tavoin, ja siitä saadaan tehtyä monia erilaisia mittoja sahatavaraa. Yleensä kuitenkin 6 metriä pitkä sahatavara on pisintä, jota puutavaraliikkeistä saa. Sahatavaralle on myös tapoja jatkaa mittoja, jotta saadaan pidempää sahatavaraa tarvittaessa. (Puuinfo Oy, 2020b.)

Työssä tutkittavissa autokatoksissa varaston seinärungoissa yleisin käytetty sahatavara koko on 48 mm paksua ja 98 mm korkeaa, eli tutummalla nimellä tunnettua kakkosnelosta. Kattoniskoissa ja lattiarungossa käytetään lähes aina 48 mm paksua ja 148 mm korkeaa sahatavaraa. Kattoniskoja mitoittaessa voidaan tarvittaessa myös käyttää suurempi poikkileikkauksista sahatavaraa.

2.2.2 Liimapuu

Liimapuu tarkoittaa sahatavaramalleista yhteen liimaamalla valmistettua puutuotetta. Lamellit ovat 45 millimetriä paksuja ja niiden syysuunta kulkee puutuotteen pituussuuntaisesti. (Puuinfo Oy, 2020c.) Liimaamalla lamelleja päällekkäin voidaan muodostaa tarvittaessa todella korkeita palkkeja, jolloin päästään pidempiin jänneväleihin liimapuulla.

Tässä työssä tutkittaviin autokatoksiin liimapuuta käytetään pilareissa ja kantavissa pääpalkeissa. Pilarit ovat lähes aina neliönmuotoisia pilareita ja 115 millimetriä molempiin poikkileikkaussuuntiin. Suomessa käytettävä yleisin liimapuun lujuusluokka on GL30c. Tämän työn autokatoksissa käytetään GL30c lujuusluokan liimapuu palkkeja, ja liimapuupilareina GL24c lujuusluokan liimapuuta.



KUVA 2. Yhdistetyn ja homogeenisen liimapuun ero (Puuinfo Oy, 2020)

GL30c lujuusluokka on yhdistettyä liimapuuta. Se tarkoittaa sitä, että liimapuu on rakennettu eri lujuusluokan sahatavaralamelleista. GL30c nimessä kirjain c tarkoittaa ”combined” eli yhdistetty. Yhdistetyssä liimapuussa uloimmat lamellit ovat vahvempaa lujuusluokkaa kuin sisemmät lamellit. Toisin kuin luokassa GL30h, h tarkoittaa ”homogeneous”, eli GL30h lujuusluokan liimapuissa on käytetty samaan lujuusluokkaan kuuluvia sahatavaralamelleja. (Puuinfo Oy, 2020c.)

TAULUKKO 3. Liimapuupalkkien yleisimmät poikkileikkausmitat (Puuinfo Oy, 2020)

Leveys	Korkeus									
	90	115	140	225	270	315	360	405	450	495
90	x			x	x	x	x	x		
115		x		x	x	x	x	x	x	x
140			x		x	x	x	x		
165							x		x	

Tässä työssä tutkittavissa autokatoksissa lähes aina käytetään 115 millimetriä leveitä ja 115 millimetriä paksuja pilareita, jolloin on silloin järkevintä käyttää myös 115 millimetriä leveitä liimapuupalkkeja. Käytettävien palkkien korkeudet vaihtelevat jännevälien ja kuormien takia, mutta yleisimmät palkkikorkeudet ovat 225 millimetriä, 360 millimetriä ja 405 millimetriä. Tarvittaessa voidaan käyttää myös

leveämpiä ja eri korkuisia palkkeja. Käytettävien palkkien koot määräytyvät mitoituskalkemista tulevien käyttöasteiden mukaan.

3 POHJAA MITOITUKSELLE

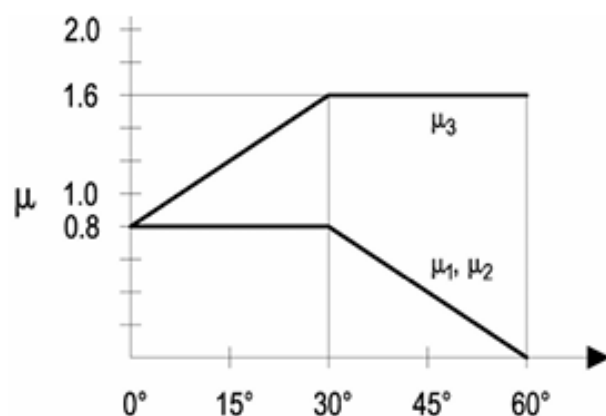
Kuten jo aiemmin todettu, tämän työn kirjallisena taustana mitoitukselle toimii puurakenteiden suunnitteluun tehty eurokoodi 5 suunnitteluohje. Tämä kyseinen suunnitteluohje pohjautuu RIL 205-1-2017 puurakenteiden suunnitteluohjeeseen ja RIL 205-2-2019 puurakenteiden palomitoitus kirjaan. Tässä kappaleessa käydään läpi eurokoodista löytyvää materiaalia, jota autokatoksen mitoittamisessa tarvitaan.

3.1 Kuormat

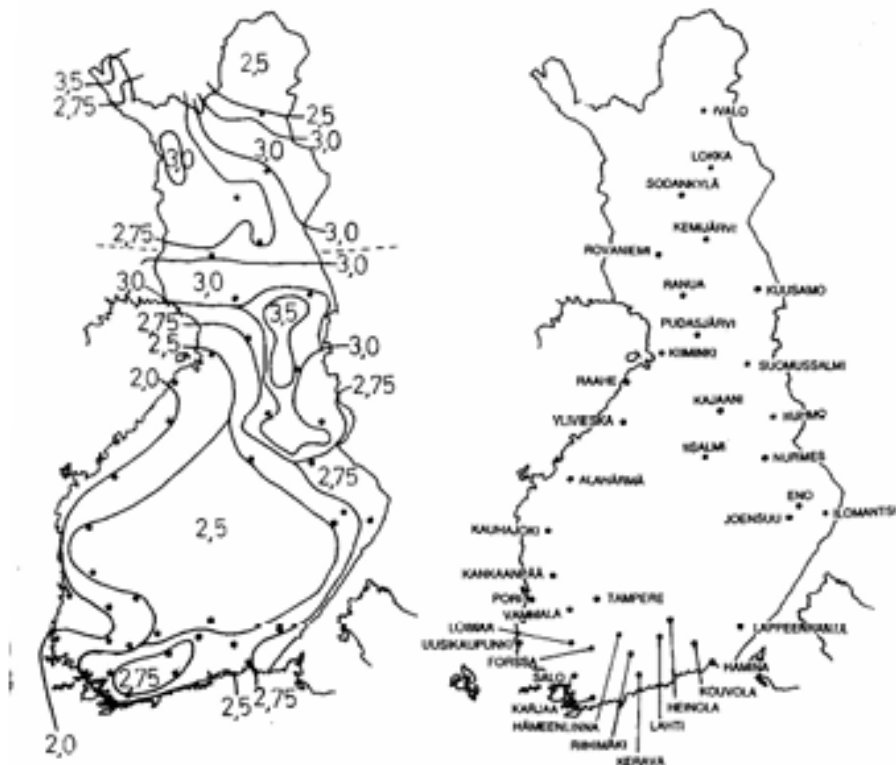
Yleensä rakennuksiin kohdistuvia kuormia ovat lumikuorma, tuulikuorma, omapaino ja hyötykuorma. Työssä tutkittavissa autokatoissa hyötykuormaa esiintyy vain varastoissa, ja varaston lattiarungon mitoituksessa. Muuten katokselle tulee vain lumikuormaa ja tuulikuormaa omanpainon lisäksi.

3.1.1 Lumikuorma

Lumikuorman suuruus määräytyy rakennuksen sijainnista ja katon muodosta ja kaltevuudesta. Kyseisissä autokatoissa katon muoto on lähes aina pulpetti-katto ja kattokaltevuus aina alle 30 astetta, jolloin lumikuorman laskeminen on yksinkertaista.



KUVIO 1. Lumikuorman muotokerroin (Eurokoodi 5, 2020. 12)



KUVA 3. Lumikuorman ominaisarvot maassa s_k (Eurokoodi 5, 2020. 11)

Kuvassa 3 esitetään lumikuorman ominaisarvot maassa keskimäärin 50 vuoden toistumisajalla. Maassa oleva lumikuorma täytyy muuttaa katolla olevaan lumikuormaan, ja sen suuruus määräytyy kertoimella, joka määräytyy katon kaltevuuden mukaan kuviosta 1. Katolla oleva lumikuorma saadaan määriteltä kaavalla,

$$q_k = \mu_i \cdot s_k \quad (1)$$

missä

μ_i

Katon muotokerroin

s_k

Lumikuorman ominaisarvo maassa

Lumikuorman ominaisarvo maassa saadaan kuvasta 3, ja katon muotokerroin saadaan kuviosta 1. Kattomuodon ollessa pulpettikatto, käytetään kuviosta 1 käyrää μ_1, μ_2 . Käytettävä käyrä määräytyy kattomuodosta, ja kattomuodot esitetään eurokoodi 5:n lyhennyksessä suunnitteluohjeessa sivulla 13.

3.1.2 Tuulikuorma

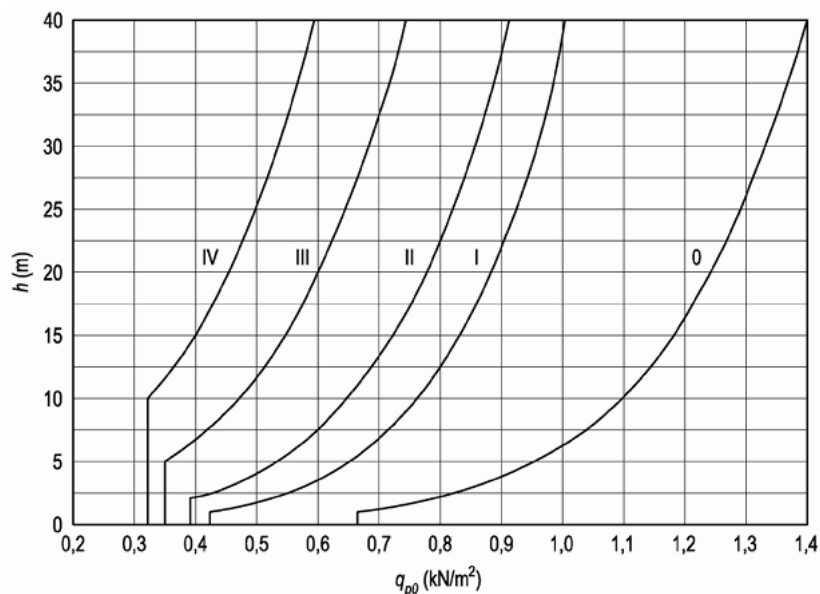
Tuulikuorman laskemiseen löytyy muutamia eri tapoja. Tässä työssä käytetään eurokoodista löytyvää yksinkertaista tapaa tuulikuorman ominaisarvon määrittämiseen. Eurokoodissa (Eurokoodi 5. 12) todetaan, että tavanomaisten rakennusten yhteydessä voidaan suomessa käyttää eurokoodissa esitettävää yksinkertaistettua laskentamenettelyä tuulikuormalle. Tuulikuorman ominaisarvo lasketaan kaavalla

$$q_p(h) = \gamma_D * q_{p0}(h) \quad (2)$$

missä

γ_D	Maaston kaltevuudesta johtuva kerroin
$q_{p0}(h)$	Nopeuspaineen ominaisarvo

Eurokoodin (Eurokoodi 5. 12) mukaan kaavassa oleva maaston kaltevuudesta johtuva kerroin on 1.0 kun maaston kaltevuus on pieni. Koska tutkittavia autokatoksia on miltei mahdotonta toteuttaa jyrkkiin maastoihin, voidaan todeta, että aina tuulikuormaa laskettaessa kyseisiin autokatoiksi on edellä mainittu kerroin 1.0. Kaavassa oleva nopeuspaineen ominaisarvo riippuu rakennuksen korkeudesta ja maastoluokasta, ja kyseinen arvo saadaan yksinkertaisesti luettua kuvio 2.



KUVIO 2. Nopeuspaineen ominaisarvo $q_{p0}(h)$ (Eurokoodi 5, 2020. 13)

Kuviota 2 tulkittaessa täytyy huomioida mitoitettavan katoksen maastoluokka ja rakennuksen korkeus.

Kun kaavasta 2 on saatu tuulikuormalle ominaisarvo, voidaan sen avulla tarkastella rakennuksen eri alueille syntyvää tuulen nettopainetta kaavalla

$$q_{w,k} = c_{p,net} * q_p(h) \quad (3)$$

missä

$c_{p,net}$	Osapinnan nettotuulenpaine kerroin
$q_p(h)$	Rakennuksen korkeutta vastaava nopeuspaine

Kaavasta 3 saadaan määriteltyä tuulikuorman ominaisarvo $q_{w,k}$ rakennuksen eri alueille. Kerroin $c_{p,net}$ muuttuu sen mukaan millä alueella tuulikuormaa tarkastellaan. Osapinnan nettotuulenpaine määräytyy taulukon 4 mukaan.

TAULUKKO 4. Ulkoseinien paikallisen tuulenpaineen nettopainekertoimia (Eurokoodi 5, 2020. 14)

Ulkoseinät	suurin imu nurkka-alueilla ¹⁾		suurin imu keskialueilla		suurin paine sisäänpäin	
	$A \geq 10$	$A \leq 1 \text{ m}^2$	$A \geq 10$	$A \leq 1 \text{ m}^2$	$A \geq 10$	$A \leq 1 \text{ m}^2$
tarkasteltava pinta-ala						
$c_{p,net}$	-1,5	-1,7	-1,1	-1,4	+1,1	+1,3

Taulukosta 4 määritellään kerroin $c_{p,net}$ tarkasteltavan seinäpinta-alan mukaan ja alueen mukaan, millä tuulikuormaa halutaan tarkastella. Mikäli tarkasteltava seinäpinta-ala on välillä 1-10 neliometriä, voidaan nettopaine interpoloida lineaarisesti (Eurokoodi 5, 2020. 14).

3.1.3 Omapaino

Autokatokseen kohdistuva omapaino määräytyy rakenteiden mittojen ja materiaalien tilavuuspainojen perusteella. Eurokoodissa 5 (puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje) määritellään, että kuivalle havupuutavaralle ja havupuutavarasta

liimaamalla valmistetulle rakennusmateriaaleille käytetään tilavuuspainoa $5 \frac{kN}{m^3}$. Omapainoon lasketaan mukaan kaikki rakenteille kuormaa tuovat kantavat ja ei-kantavat rakenneosat ja kiinteät laitteet (Eurokoodi 5, 2020. 10). Työssä tutkittavissa autokatoksissa kiinteitä laitteita ei yleensä ole, joten omapaino koostuu katon kattorakenteesta ja kaikista puu rakenteista.

3.1.4 Kuormien aikaluokat

Kuormien aikaluokkien määrittely tutkittaville autokatoksille on yksinkertaista, koska autokatoosiin ei kohdistu hyötykuormaa muualla kuin varaston lattialle, mikäli autokatooseen rakennetaan myös varasto. Kuormien aikaluokat määräävät niille tulevat varmuuskertoimet esimerkiksi pilarin nurjahdusta mitoittaessa.

Eurokoodissa (Eurokoodi 5, 2020. 15) määritellään omapainon kuuluvan pysyvään aikaluokkaa, lumikuorman keskipitkään aikaluokkaan ja tuulikuorman hetkelliseen aikaluokkaan.

3.2 Mitoituskuormat

Kun mitoitettavaan rakenteeseen kohdistuvat kuormat on saatu selvitettyä, täytyy niistä muodostaa yhdistetty mitoituskuorma rakenteen kestävyystarkastelua varten. Eurokoodissa 5 esitetään aikaluokittain jaotellut kaavat kertoimiseen mitoituskuormille murtorajatila tarkasteluun.

Pysyvässä aikaluokassa mitoituskuorma lasketaan kaavalla

$$1.35 * G_{kj} \quad (4)$$

keskipitkässä aikaluokassa kaavalla

$$1.15 * G_{kj} + 1.5 * Q_{k.1} + 1.05 * Q_{k.2} \quad (5)$$

ja hetkellisessä aikaluokassa kaavalla

$$\max \begin{cases} 1.15 * G_{kj} + 1.5 * Q_{k,t} + 1.05 * Q_{k,1} + 1.05 * Q_{k,2} \\ 1.15 * G_{kj} + 1.5 * Q_{k,1} + 1.05 * Q_{k,2} + 0.9 * Q_{k,t} \end{cases} \quad (6)$$

missä

G_{kj}	Pysyvien kuormien ominaisarvo
$Q_{k,1}$	Lumi- ja hyötykuorman arvoista suurempi
$Q_{k,2}$	Lumi- ja hyötykuorman arvoista pienempi
$Q_{k,t}$	Tuulikuorman ominaisarvo

Edellä mainitut laskentakaavat 3,4 ja 5 on esitetty eurokoodissa ilman kuormakerrointa K_{FI} ja ilman muuttuvien kuormien yhdistelykerrointa $\psi_{0,i}$. Kuormakerrointa ei kuormien lasketaan tässä tapauksessa tarvita, koska se riippuu rakennuksen tai rakenteen seuraamusluokasta, ja nämä esitetyt murtorajatilan laskentakaavat pätevät vain seuraamusluokille 1 ja 2. (Eurokoodi 5, 2020. 9). Seuraamusluokkaa 1 käytetään todella harvoin, ja tässäkin työssä tutkittavat autokatokset kuuluvat seuraamusluokkaan 2, jolloin K_{FI} kertoimen arvo olisi 1.0.

Muuttuvien kuormien yhdistelykertoimen unohtaminen tutkittavia autokatoksia mitoittaessa on myös täysin sallittavaa, koska autokatoksiin ei kohdistu muuta muuttuvaa kuormaa kuin lumikuorma, jolloin kerrointa ei edes esiinny kaavoissa.

3.3 Käyttöluokat

Rakenteita mitoittaessa on rakenteet jaoteltava käyttöluokkiin 1, 2 tai 3. Käyttöluokka määräytyy sen mukaan, minkälaisiin olosuhteisiin tarkasteltava rakenne on suunniteltu. Käyttöluokasta määräytyy lujuusarvot ja osa kertoimista materiaaleille. (Eurokoodi 5, 2020. 15.)

Käyttöluokkaan 1 kuuluvat puurakenne, joka on lämmitetyssä sisätilassa tai muualla vastaavassa kosteusolosuhteessa suojassa kosteudelta (Eurokoodi 5, 2020. 15).

Käyttöluokkaan 2 kuuluu puurakenne, joka on ulkoilmassa mutta suojassa sateelta kuivana pysyvä rakenne. Rakenne tulee olla tuulettuva alapuolelta ja sivuista ja hyvin katettu sateelta. (Eurokoodi 5, 2020. 15.) Tässä työssä tutkittavat puurakenteet voidaan määrittellä kuuluvat käyttöluokka 2, koska kaikki rakenteet ovat katteen alla suojassa sateelta ja tuulettuvassa tilassa.

Käyttöluokkaan 3 kuuluu puurakenteet, jotka ovat vedelle välittömästi vaikutuksessa tai ulkona säälle alttiina (Eurokoodi 5, 2020. 15)

3.4 Materiaaliominaisuudet

Mitoittaessa rakenteita on rakenteen materiaalilla paljon merkitystä tuloksiin, mitä mitoitukselta saadaan. Esimerkiksi puurakenteita mitoittaessa on väliä, käytetäänkö sahatavaraa vai liimapuuta. Materiaalien lujuudet ja kestävyudet ovat erilaisia riippuen materiaalista, jonka takia on määritelty eri suuruisia kertoimia eri materiaaleille.

TAULUKKO 5. Suomessa käytettävät materiaalien osavarmuusluvut γ_M (Eurokoodi 5, 2020. 15)

Perusyhdistelmät:	
Sahatavara ja pyöreä puutavara yleensä	1,3
Liimapuu, CLT	1,25
LVL, vaneri, OSB-levy	1,2
Muu lastulevy, kuitulevyt	1,3
Liitokset	1,3
Onnettomuusyhdistelmät	1,0

Taulukosta 5 nähdään eri materiaaleille määritellyt osavarmuusluvut, joita tarvitaan rakenteiden lujuuden laskentaan. Tarkasteltavan puurakenteen lujuusominaisuuden mitoitusarvo saadaan kaavasta

$$X_d = k_{mod} * \frac{X_k}{\gamma_M} \quad (7)$$

missä

X_k Lujuusominaisuuden ominaisarvo

γ_M Materiaalin osavarmuusluku

k_{mod} Kuorman aikaluokan ja materiaalin käyttöluokan huomioiva kerroin

Kaavalla 7 saadaan muutettua taulukoidut lujuusominaisuuksien ominaisarvot mitoitusarvoiksi murtorajatilatarkastelua varten. Kaavassa käytettävä k_{mod} määräytyy kuorman aikaluokan ja materiaalin käyttöluokan mukaan, mutta yleisin käytettävä arvo tämän työn tyyppisissä katoksissa on 0.8 sahatavaralle ja liimapuulle. Taulukosta 6 saadaan muille puumateriaaleille luettua k_{mod} arvo.

TAULUKKO 6. Muunnoskerroimen k_{mod} arvot (Eurokoodi 5, 2020. 17)

Materiaali	Käyttöluokka	Kuorman aikaluokka		
		Pysyvä	Keskipitkä	Hetkellinen
Sahatavara, Pyöreä puutavara, Liimapuun, LVL, Vaneri, CLT	1	0,60	0,80	1,10
	2	0,60	0,80	1,10
	3	0,50	0,65	0,90
Lastulevy P4 ¹⁾ , OSB/2 ¹⁾ , Kova kuitulevy	1	0,30	0,65	1,10
	2	0,20	0,45	0,80
Lastulevy P6 ¹⁾ , OSB/3 ja OSB/4	1	0,40	0,70	1,10
	2	0,30	0,55	0,90
Puolikovat kuitulevyt: MBH.LA ¹⁾ , MBH.HLS, MDF.LA ¹⁾ ja MDF.HLS	1	0,20	0,60	1,10
	2	-	-	0,80

TAULUKKO 7. Virumaluvun k_{def} arvot puulle ja puutuotteille (Eurokoodi 5, 2020. 17)

Materiaali	Standardit	Käyttöluokka		
		1	2	3
Sahatavara, Pyöreä puu	EN 14081-1	0,60	0,80	2,00
Liimapuun	EN 14080			
LVL, CLT syrjällään	EN 14374			
Vaneri, Kerto-Q lappeellaan, CLT lappeellaan	EN 636, VTT 184/03	0,80	1,00	2,50
OSB-levy	EN 300: OSB/2	2,25	-	-
	EN 300: OSB/3, OSB/4	1,50	2,25	-
Lastulevy	EN 312: P4	2,25	-	-
	EN 312: P6	1,50	-	-
Kova kuitulevy	EN 622-2: HB.LA, HB.HLA	2,25	3,00	-
Puulikova kuitulevy	EN 622-3: MBH.LA, MBH.HLS	3,00	4,00	-
MDF-levy	EN 622-5: MDF.LA, MDF.HLS	2,25	3,00	-

Taulukosta 7 saadaan käyttörajatilatarkasteluun taipuman laskentaan k_{def} arvo, joka määräytyy käytettävän materiaalin ja käyttöluokan mukaan.

TAULUKKO 8. Sahatavaran ja liimapuun ominaislujuudet, jäykkyysominaisuudet ja tiheydet yleisimmissä lujuusluokissa (Eurokoodi 5, 2020. 17)

Lujuusluokka	Sahatavara			Liimapuu		Halkaistu liimapuu	
	C18 (T1)	C24 (T2)	C30 (T3)	GL24c	GL30c	GL30cs ¹⁾	
Ominaislujuudet (N/mm ²)							
Taivutus	$f_{m,k}$	18	24	30	24	30	28
Veto	$f_{t,0,k}$	10	14,5	19	17	19,5	18,7
	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
Puristus	$f_{c,0,k}$	18	21	24	21,5	24,5	23,3
	$f_{c,90,k}$	2,2	2,5	2,7	2,5	2,5	3,0
Leikkaus	$f_{v,k}$	3,4	4,0	4,0	3,5	3,5	3,5
Jäykkyysominaisuudet (N/mm ²)							
Kimmomoduuli	$E_{0, mean}$	9000	11000	12000	11000	13000	12500
	$E_{90, mean}$	300	370	400	300	300	300
Liukumoduuli	G_{mean}	560	690	750	650	650	650
Tiheydet (kg/m ³)							
Ominaisstiheys	ρ_k	320	350	380	365	390	390
Tiheyden keskiarvo	ρ_{mean}	380	420	460	400	430	430

Taulukosta 8 saadaan kaikki ominaislujuudet, joita työssä tutkittavien autokatosten puurakenteita mitoittaessa tarvitaan. Näistä arvoista saadaan kaavalla 7 laskemalla mitoitusarvot.

4 MITOITUS

4.1 Lähtötiedot

Työssä ei ole tarkoitus perehtyä yhteen tiettyyn autokatokseen, vaan rakentaa kokonaisuudessaan kaikkiin autokatoosiin sopivat helposti muokattavat laskentapohjat. Tässä työssä laskentapohjiin otettu mittoja ja arvoja yleisimmin käytetystä autokatoksesta suurimmilla kuormilla mitä autokatoosiin syntyy.

Aloitetaan mitoittaminen autokatoksen ylimmistä kantavista rakenteista, eli katoniskoista. Ylhäältä aloittaminen helpottaa kuormien laskentaa alaspäin mennessä, koska kaikki yläpuolen kuormat siirtyvät alemmille kantaville rakenteille.

4.2 Kattoniskojen mitoitus

Kattoniskoina tutkittavissa autokatoosissa käytetään lähes aina yksiaukkoista ja C24 lujuista sahatavaraa. Yleisin poikkileikkauskoko, jota käytetään, on 48 millimetriä leveä ja 148 millimetriä korkea sahatavara.

4.2.1 Lähtötiedot

Kuten aina mitoitusta aloitettaessa, eurokoodista haetaan mitoittamisessa käytettävät kertoimet ja materiaalilujuudet laskentapohjaan. Seuraavaksi mitoitusta varten lasketaan kaikki kuormat, mitä kattoniskalle tulee. Tässä tapauksessa kuormina ovat kattorakenteen omapaino ja lumikuorma. Näistä kuormista voidaan heti päätellä lumikuorman oleva määräävä kuorma mitoittaessa, jolloin laskentakuorma P_d mitoitukselle lasketaan keskipitkän kuormituksen kaavalla 5.

Mitoitustulosten saamista varten tarvitaan maksimi leikkausvoiman arvo ja maksimi taivutusmomentin arvo kattoniskassa. Maksimi leikkausvoiman arvo saadaan laskettua kaavalla

$$V_d = \frac{P_d * L}{2} \quad (8)$$

Taivutusmomentin maksimiarvo saadaan laskettua kaavalla

$$M_d = \frac{P_d * L^2}{8} \quad (9)$$

missä

P_d Laskentakuorma kattoniskalle

L Kattoniskan jännevälin pituus

Kaavoilla 7 ja 8 saadaan laskettua kaikkien yksiaukkoisten palkkien, joihin kohdistuu tasainen kuorma, maksimi leikkausvoima ja maksimi taivutusmomentti. Maksimi leikkausvoima on myös tukipaine tarkasteluun tarvittava maksimi tukireaktion laskenta-arvo.

Lähtötietojen ja näiden voimien selvittämisen jälkeen voidaan alkaa tarkastelemaan kattoniskan kestävyyttä.

4.2.2 Taivutuskestävyys

Kattoniskan taivutuskestävyys lasketaan kahdella eri tapaa, kiepahdus huomioidatta, ja kiepahdus huomioiden. Ilman kiepahduksen huomioimista, on taivutuskestävyyttä tarkastellessa täytyttävä kaava

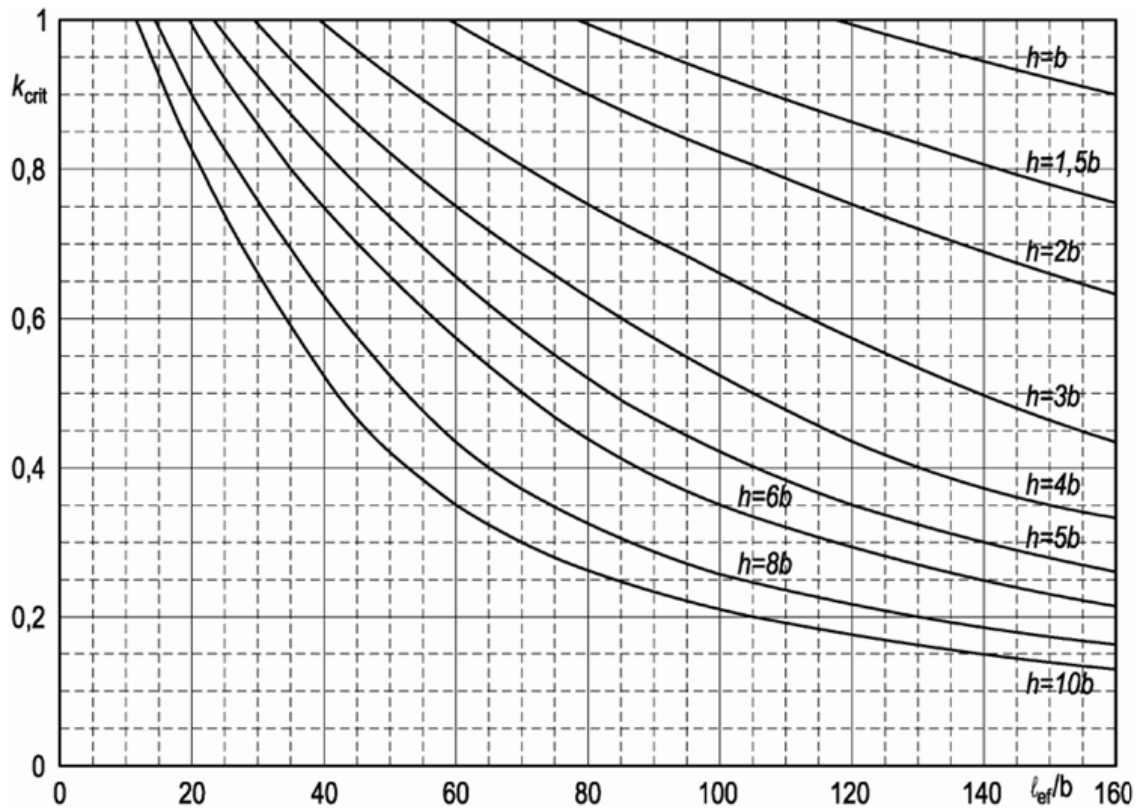
$$\frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.y.d}} \leq 1 \quad (10)$$

missä

$\sigma_{m.y.d}$ Taivutusjännityksen laskenta-arvo

$f_{m.y.d}$ Taivutuslujuuden laskenta-arvo

Kun taas tarkastellessa taivutuskestävyyttä kiepahdus huomioiden, on kaavaan otettava mukaan lisäkerroin k_{crit} . Kertoimen suuruus riippuu kiepahdustukivälistä sekä kattoniskan poikkileikkauksen koosta



KUVIO 3. Kiepahduskertoimen arvon lukemiseen oleva kuvaaja. (Eurokoodi 5, 2020. 27)

Kuviosta 3 saadaan luettua kiepahduskerroin k_{crit} sahatavaralle luokissa C14-C27 ja GL-luokkien liimapuulle (Eurokoodi 5, 2020. 27). Kaava, joka on täyttyttävä taivutuskestävyyttä tarkastellessa kiepahdus huomioiden, on

$$\frac{\sigma_{m.y.d}}{k_{crit} * f_{m.y.d}} \leq 1 \quad (11)$$

missä

$\sigma_{m.y.d}$

Taivutusjännityksen laskenta-arvo

$f_{m.y.d}$

Taivutuslujuuden laskenta-arvo

k_{crit}

Kiepahdustukikerroin

Kattoniskojen kiepahdustuenta on lähes aina niin tiheä, että kiepahdustukikertoimeksi tulee arvo 1.0, jolloin kertoimella ei ole vaikutusta laskentakaavaan ollenkaan.

Laskentapohjiin kaikki käyttöasteet on merkitty prosentein, jotta on helpompaa tulkita tuloksia. Kaikki käyttöasteet täytyy siis olla alle 100 %, jotta rakenteen kestää varmasti.

4.2.3 Leikkauskestävyys

Leikkauskestävyyttä mitoittaessa on jälleen päästävä alle 100 %:n käyttöasteen, kaavalla

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1 \quad (12)$$

missä

τ_d	Leikkausjännityksen laskenta-arvo
$f_{v,d}$	Leikkauslujuuden laskenta-arvo

Laskentapohjaan tehdyssä leikkauskestävyys tarkastelussa nähdään, että ei olla lähelläkään 100 %:n käyttöastetta, mutta mikäli mentäisiin sen yli, saisi käyttöastetta pienennettyä suurentamalla kattoniskan poikkileikkauksen kokoa.

4.2.4 Taipuma

Taipumaa mitoittaessa on kestävyyskäyttöasteen määrittelyssä merkitystä sillä mihin mitoitettava rakenne on tulossa, ja minkälainen rakenne on. Taipumaa tarkastellessa määritellään kuinka paljon rakenne saa taipua, ja sitä verrataan siihen, kuinka paljon rakenne laskennallisesti taipuu.

Eurokoodissa taipuman laskemiseen on annettu kaksi erilaista kaavaa, joista suurempi otettaisiin käyttöön, mutta koska autokatoksen kattoniskaa mitoittaessa ei ole kuormana hyötykuormaa, lasketaan lopullinen taipuma kaavalla

$$w_{net} = (1 + k_{def}) * w_{inst.g} + (1 + 0.2 * k_{def}) * w_{inst.q} \quad (13)$$

missä

k_{def}	Virumaluku (Taulukko 7)
$w_{inst.g}$	Pysyvän kuorman aiheuttama hetkellinen taipuma
$w_{inst.q}$	Lumikuorman aiheuttama hetkellinen taipuma

Kaavasta 12 saatua lopullista taipumaa verrataan eurokoodista löytyvään tauluk-
koon, jossa esitetään sallitut taipumarajat rakenteille.

TAULUKKO 9. Rakenteen taipuman sallitut enimmäisarvot (Eurokoodi 5, 2020.
21)

Rakenne	$w_{inst}^{1)}$	$w_{net,fin}^{2)}$	$w_{fin}^{3)}$
Pääkannattimet	$l/400$	$l/300$	$l/200$
Orret ja muut toisiokannattimet	-	$l/200^{5)}$	$l/150$
Rakennuksen vaakasiirtymä ⁴⁾	-	$H/300$	-

l on jänneväli
 H on rakennuksen tarkasteltavan kohdan korkeus

¹⁾ Koskee pelkästään lattioita
²⁾ Koskee suoria ja esikorotettuja rakenteita, mutta ei tukipisteiden välillä kaarevia tai taitteellisia kannattimia.
³⁾ Koskee esikorotettuja sekä tukipisteiden välillä kaarevia tai taitteellisia rakenteita, kuten esimerkiksi kaaret, mahapalkit, saksiristikot, bumerangipalkit.
⁴⁾ Hallirakennuksissa vaakasiirtymistä ei ole yleensä haittaa, jolloin sitä ei tarvitse tarkistaa. Kerrostaloissa suositellaan vaakasiirtymän rajoittamista enintään arvoon $H/500$ ylimmän kerroksen lattiatasolla.
⁵⁾ Lattialevyn taipumaa laskettaessa kuormituk-
sena on lyhytaikainen pistekuorma $Q_k = 2$ kN ja levyn omapaino.

Taulukosta 9 tulkitaan, minkälaista rakennetta mitoitetaan, ja otetaan kyseiselle rakenteelle taipumaraja taulukosta. Taipumaa tarkastellessa käyttöasteen tulee olla jälleen pienempi kuin 100 %, kun lopullista taipumaa verrataan sallittuun taipumaan kaavalla

$$\frac{w_{net}}{w_{sall}} \leq 1 \quad (14)$$

missä

w_{net} Lopullinen taipuma

w_{sall} Sallittu taipuma

Mikäli taipuma olisi liian suuri, saisi sitä pienennettyä kasvattamalla palkin poikileikkausta.

4.2.5 Tukipainekestävyys

Tukipainekestävyyttä mitoittaessa täytyy määritellä mitä tukea lähtee tarkastelemaan, tai tarkastella varmuuden vuoksi kaikki tuet. Tutkittavissa autokatoksissa tarkasteltava tuki on helppo määritellä kuormat tiedettäessä ja tukien koot tiedettäessä. Kattoniskaa mitoittaessa tutkitaan tuki, jolla on pienempi tukipinta. Tukipainekestävyys saadaan kaavalla

$$\frac{\sigma_{c.90.d}}{k_{c.t} * f_{c.90.d}} \leq 1 \quad (15)$$

missä

$\sigma_{c.90.d}$ Syitä vastaan kohtisuoraan puristusjännityksen laskenta-arvo

$k_{c.t}$ Tukipainekerroin

$f_{c.90.d}$ Syitä vastaan kohtisuoraan puristuslujuuden laskenta-arvo

Kattoniskaa mitoittaessa tukipainekestävyys on paljon alle 100 %. Mikäli kestävyyskäyttöaste olisi liian suuri, saisi sitä pienennettyä helposti kattoniskajakoa tihentämällä.

Kattoniskan mitoitusta varten tehdyt laskentapohjat ja esimerkkilaskenta löytyvät liitteestä 1.

4.3 Liimapuupalkin mitoitus

Liimapuupalkkina tässä työssä tarkastellaan kolmitukista ja kaksiaukkoista liimapuupalkkia. Kyseinen palkkirakenne on yleisin tutkittavissa autokatoksissa, joten on sitä tarkasteltu tässä työssä. Tarkastellessa kestävyyskäyttöasteita palkissa, on laskentakaavat samat kuin kattoniskaa mitoituksessa.

4.3.1 Lähtötiedot

Tätäkin tarkastelua varten tarvitsee ensiksi hakea kaikki palkin kertoimet ja materiaalilujuudet, joita mitoituksessa tarvitaan. Kuormina palkille tulee kaikki samat kuormat mitä kattoniskoille ja lisäksi palkin omapaino. Koska hyötykuormaa ei taaskaan palkille tule, voidaan todeta lumikuorman olevan määräävä kuorma palkille. Lasketaan siis laskentakuorma P_d keskipitkän kuormituksen kaavalla 5.

Maksimivoimasuureiden laskeminen on hieman mutkikkaampaa kuin kattoniskoja mitoittaessa, koska kyseessä on kaksiaukkoinen palkki. Maksimimomentti palkkirakenteesta löytyy keskimmaiseltä tuelta, ja se saadaan laskettua kaavalla

$$M_d = \frac{P_d * L_1^3 * P_d * L_2^3}{8 * (L_1 + L_2)} \quad (16)$$

missä

L_1	Palkin pidempi jänneväli
L_2	Palkin lyhyempi jänneväli
P_d	Laskentakuorma

Momentin suuruus oli tarkasteltava myös pidemmän jännevälin alueella, koska sieltä olisi voinut tulla suurempi momentti.

Leikkausvoiman tarkastelu kaksiaukkoiselle palkille saadaan ensiksi selvittämällä palkin kaikkien tukien tukireaktiot, ja niiden perusteella saadaan laskentakaavoilla kaikkien tukien kohdilla olevat maksimi leikkausvoimat selville. Keskimäiselle tuelle tuli suurin leikkausvoima pidemmän jännevälin puolelta.

Maksimimomentin ja maksimileikkausvoiman laskenta löytyvät liitteestä kaksi, liitteen sivuilta 2 ja 3.

4.3.2 Taivutuskestävyys

Liimapuupalkin taivutuskestävyys tarkastellaan samoilla kaavoilla kuin kattoniska mitoittaessa. Ilman kiepahdustuenta tarkastellessa on mitoituksessa täyttyvä kaavan 10 ehto. Kiepahduksen ollessa mukana tarkastelussa on täyttyvä kaavan 11 ehto. Palkki on kiepahdustuettu kattoniskojen avulla niin tiheästi, että kiepahduskerroin on tässäkin mitoituksessa 1.0.

Taivutuskestävyys on helposti alle 100 %:n käyttöasteen liimapuupalkki tarkastelussa, joten se kestää taivutus mitoituksen.

4.3.3 Leikkauskestävyys

Myös leikkauskestävyyttä tarkastellessa on laskentakaavat täysin samat kuin kattoniskan mitoituksessa. Leikkauskestävyyttä tarkastellessa on siis täyttyvä kaavan 12 mitoitusehto. Tässäkin palkissa ehto täyttyy helposti, ja mikäli se ei täytyisi saisi käyttöastetta pienennettyä palkin kokoa suurentamalla.

4.3.4 Taipuma

Taipumaa tarkastellessa kaksiaukkoiselle palkille pitää määrätä kumpaa aukkoa lähtee tarkastelemaan. Koska muuten kaikki muuttajat ovat täysin samat tarkastellessa eri jännevälejä, paitsi jännevälin leveys, on helppo määrittellä, että pidempi jänneväli tulee taipumaan enemmän, joten tarkastellaan sitä mitoituksessa.

Lopullinen taipuma palkille saadaan samalla kaavalla kuin kattoniskan taipuma, eli kaavalla 13. Taulukosta 9 tulkitaan sallittu taipumaraja palkille, joka on tässä mitoituksessa eri kuin kattoniskaa mitoittaessa. Kun taipumaraja on saatu selville, täytyy taipuma tarkastelussa toteutua kaavan 14 mitoitusehto.

4.3.5 Tukipainekestävyys

Tarkasteltavalla palkilla voidaan todeta keskimmäisen tuen saavan suurimman tukireaktion, koska katolla on tasainen lumikuorma ja keskimmäinen tuki kerää kuormasta isoimman osan. Työssä on tarkasteltu palkin tukipainekestävyyttä keskimmäisellä tuella. Kaikilla tarkasteltavilla tuilla tulisi täytyä kaavan 15 mitoitusehto.

Autokatoksen kylkeen tulevan varaston seinärunko rakennetaan 98 mm paksusta C24 lujuusluokan sahatavarasta, jolloin tukileveys olisi 98 mm. Mitoittaessa tukipainekestävyyttä 98 millimetrin tukileveydellä huomataan kaavaa 15 tarkastellessa, että palkin tukipaine menisi yli sadan prosentin käyttöasteen.

Koska palkille tulevien kuormien muuttaminen on vaikeaa, on tuen kasvattaminen helpoin ratkaisu tukipainekestävyyden käyttöasteen pienentämiseen. Laskentapohjaan muuttaessa tuen leveyttä, voidaan selvittää, kuinka leveän tuen keskimmäinen tuki tarvitsisi. Tarkasteltavaan palkkiin 175 millimetrin tuella päästäisiin hyvin alle 100 %:n käyttöasteen.

Tuen leveyttä voidaan kasvattaa muutamien eri keinoin, voidaan kasvattaa rungon paksuutta suurentamalla runkotolppien poikkileikkausta tai lisätä paikallisesti runkotolppia keskimmaiselle tuelle, jolloin katoksen voi muuten rakentaa pienemmillä runkotolpilla. Tuelle olisi mahdollista myös lisätä tarpeeksi luja ja suuri teräslevy palkin ja rungon väliin, jolla saadaan tukileveys kasvatettua tarpeeksi isoksi.

Yksinkertaisin ja halvin ratkaisu tukipainekestävyyden käyttöasteen pienentämiseksi olisi tuen leveyden kasvattaminen seinärungossa käytettävällä sahata-varalla. Kaikki mitoitettavat rakenteet ovat kuitenkin erilaisia, joten pitää aina tilannekohtaisesti miettiä, mikä olisi paras ratkaisu ongelmaan.

Liimapuupalkin mitoitusta varten tehdyt laskentapohjat ja esimerkkilaskenta löytyvät liitteestä 2.

4.4 Liimapuupilarin mitoitus

Tutkittavissa autokatoksissa liimapuupilarit ovat lähes aina 115 x 115 millimetriä neliön muotoisia poikkileikkaukseltaan ja lujuudeltaan GL24c luokkaan kuuluvia. Pilaria tarkastellessa mitoitetaan kestäkö se nurjahtamatta, kun siihen kohdistuu tiettyjä kuormia.

4.4.1 Lähtötiedot

Pilarille kohdistuu kaikki yläpuoliset kuormat, lumikuorma, kattorakenteen paino ja palkkien omapaino. Näiden lisäksi pilarille tulee myös tuulikuormaa, joten laskentakuormien laskeminen ei ole niin yksinkertaista, mitä palkkeja mitoittaessa.

Pystykuormat pilarille saadaan ratkaistua edellisistä laskuista ottamalla kaikki kuormat mukaan, ja laskemalla miltä alueelta pilari kerää kuormat. Tuulikuorma saadaan laskettua kaavalla 3.

4.4.2 Kuormitusyhdistelmät

Laskentakuormat pilarille muuttuu sen mukaan, mikä kuormista ajatellaan olevan määräävin. Koska mukana ei vielä ole hyötykuormaa, voidaan päätellä kolme kuormitusyhdistelmää laskentaan mukaan. Pelkästään omapaino ei voi olla määräävin, koska lumikuorma tuo pystykuormaa lisää pilarille.

Ensimmäisessä kuormitusyhdistelmässä ei ole tuulta mukana, joten laskentakuorma lasketaan keskipitkän kuormituksen kaavalla 5. Kuormitusyhdistelmissä 2 ja 3 on myös tuuli mukana, joten lasketaan laskentakuormat kaavalla 6. Kertoimet kuormien edessä muuttuvat sen mukaan kumpi kuorma on laskennassa määrävänä.

Koska pystykuormat pilarille aiheuttavat jännitystä erisuuntaan kuin tuulikuorma, on ne laskettava erillään toisista, ja tämä on huomioitu kestävyyskäyttöasteen kaavassa.

4.4.3 Nurjahdusmitoitus

Nurjahdusmitoitus tarkastellaan jokaiselle kuormitusyhdistelmälle erikseen mittaessa pilarin kestävyttä. Kuormien varmuuskertoimet täytyy huomioida oikein eri kuormitusyhdistelmille, koska ne aiheuttavat eron mitoitustuloksissa.

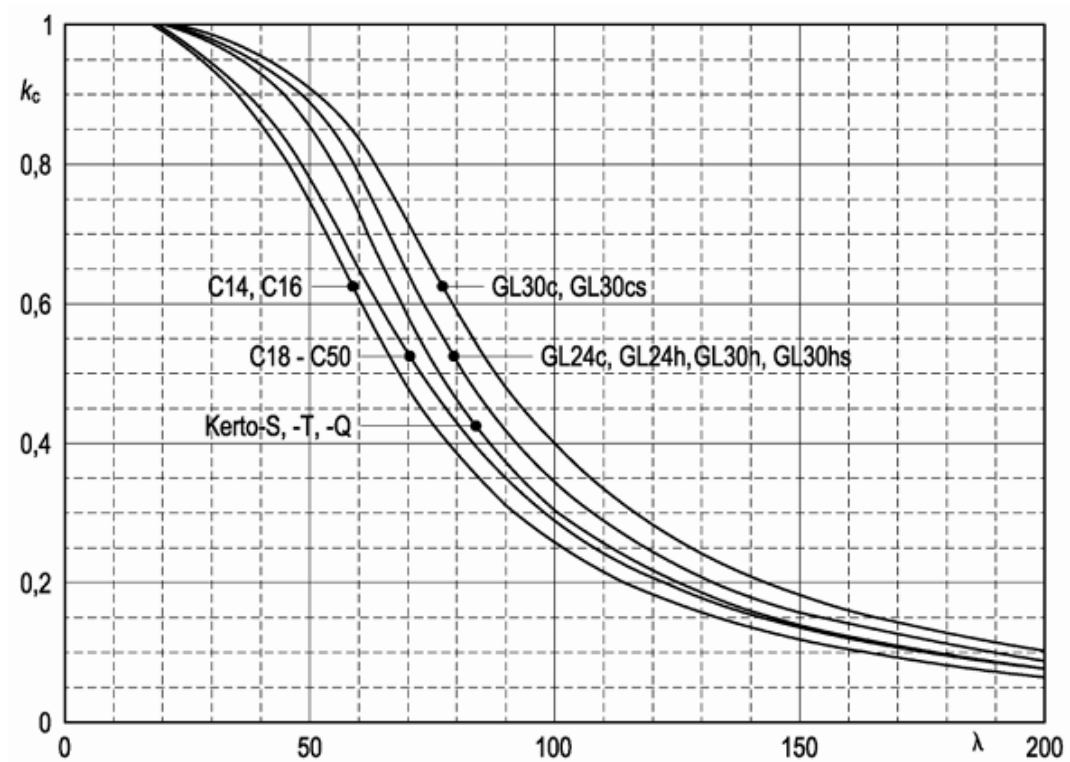
Kaikille kuormitusyhdistelmille on sama ehto, joka täytyy toteutua. Kyseinen mitoitusehto saadaan kaavalla

$$\frac{\sigma_{m.d}}{f_{m.d}} + \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{cy} * f_{c.0.d}} \leq 1 \quad (17)$$

missä

$\sigma_{m.d}$	Taivutusjännityksen laskenta-arvo
$\sigma_{c.0.d}$	Puristusjännityksen laskenta-arvo
$f_{m.d}$	Taivutuslujuuden laskenta-arvo
k_{cy}	Nurjahduskerroin
$f_{c.0.d}$	Syysuuntaisen puristuslujuuden laskenta-arvo

Kaavalla 17 saadaan laskettua kaikille kuormitusyhdistelmille oma kestävyyskäyttöaste nurjahdukselle muuttamalla kaikki arvo kuormitusyhdistelmää vastaavaksi.



KUVIO 4. Nurjahduskertoimen k_c riippuvuus hoikkeudesta (Eurokoodi 5, 2020. 27)

Kuviosta 4 saadaan selville kerroin k_{cy} kaavaa 17 varten. Kerroin riippuu pilarin poikkileikkauksen koosta, pituudesta ja pilarin materiaalista.

Pilarin mitoitusta varten tehty laskentapohja ja esimerkkilaskenta löytyvät liitteestä 3.

4.5 Lattiarungon mitoitus

Lattiarungon palkkeja mitoittaessa laskenta etenee samoilla kaavoilla kuin kattokiskojen ja pääpalkkien mitoitus. Lattiarungoissa käytetään aina C24 lujuusluokan sahatavaraa ja poikkileikkaukseltaan 48x148 kokoisia palkkeja.

4.5.1 Lähtötiedot

Ennen mitoittamisen aloittamista tiedettiin, että aikaisemmin mitoittaessa lattia-rungon kestävyyttä oli ollut ongelmia värähtelyn kanssa. Mitoituksessa oli käytetty ilmaisohjelmaa, jossa värähtelyn kestävyyskäyttöaste oli ilmeisesti aina ollut liian suuri. Värähtelystä kerrotaan enemmän kappaleessa 4.5.6.

Kuormina lattialle tutkittavissa autokatoksissa ei tule mitään aikaisemmin laskettuja kuormia, koska ne saadaan siirrettyä suoraan pilarien kautta perustuksille. Lattiaan kohdistuu vain omapaino ja hyötykuormaa. Hyötykuorman suuruuden tulkitseminen on aina tilannekohtaista riippuen siitä mihin käyttöön varastoa ollaan käyttämässä. Laskentapohjaan on eurokoodista luettu suurin hyötykuorman arvo ja mitoitukset tehty sillä.

Laskentakuorma lattiapalkille saadaan laskettua kaavalla 5. Maksimi leikkausvoima lasketaan yksiaukkoisen palkin kaavalla 8 eli samalla kaavalla kuin katoniskaa laskettaessa. Maksimimomentti lasketaan myös samalla kaavalla kuin katoniskaa tarkastellessa, eli kaavalla 9.

4.5.2 Taivutuskestävyys

Taivutuskestävyys tarkastellaan jälleen kahdella eri tapaa, kiepahdus huomioimatta ja kiepahdus huomioiden. Ilman kiepahdusta on täytyttävä mitoitusehto kaava 10 ja kiepahdus huomioiden on täytyttävä kaava 11.

Laskentapohjan esimerkkilattiassa taivutuskestävyydestä tuli mitoittavin kestävyys, koska sillä oli suurin käyttöaste. Käyttöastetta saisi pienennettyä helpoiten lisäämällä lattiapalkkeja, jolloin k-jako pienenee.

4.5.3 Leikkauskestävyys

Leikkauskestävyyttä tarkastellessa pätee jälleen täysin samat kaavat kuin muissakin palkkien laskuissa. Leikkauskestävyyttä tarkastellessa on täyttyvä kaavan 12 mitoitusehto, ja se täyttyy helposti tutkittavassa palkissa.

4.5.4 Taipuma

Taipuman tarkastelussa kaavat ovat samat, kuin aikaisemmissa tarkastelluissa palkeissa. Lattiarakennetta tarkastellessa ainoa muutos laskennassa on se, että lumikuorman sijasta lattiaan kohdistuu hyötykuormaa ja se aiheuttaa taipumaa omanpainon lisäksi.

Taipumaraja tulkitaan taulukosta 9 ja sitä verrataan kaavan 13 lopulliseen taipumaan. Mitoitusehtona toimii kaava 14, jolla verrataan sallittua ja toteutuvaa taipumaa toisiinsa

4.5.5 Tukipainekestävyys

Kuten kaikissa palkeissa aikaisemminkin, täytyy tukipainetarkastelu tehdä lattiarakenteelle myös. Tukipaine tarkastellaan lattiapalkkia kannattelevan palkkikengän kohdalla. Tarkastelussa täytyy toteutua kaavan 15 mitoitusehto, ja se toteutuu hyvin lattiarakenteessa.

4.5.6 Värähtely

Värähtelyn tiedettiin olevan yksi ongelmakohdista, mitä mitoittaessa katoksia oli huomattu. Puurakenteiden lyhennettyä suunnitteluohjetta (Eurokoodi 5) tarkastellessa huomataan, että eurokoodissa esiteltävää värähtelymitoitusta käytetään vain rakennusten välipohjille, jolloin sitä ei tutkittavissa autokatoksissa tarvitsisi huomioida.

Värähtely kuuluu käyttörajatilamitoitukseen, eli mitoittaessa värähtelyä ei käyttöasteen ylitys ole katastrofi etenkin tutkittavien autokatosten kylkeen tulevissa varastoissa. Varastot yleensä ajatellaan olevan tavaran säilytystä varten, eikä siellä ole jokapäiväistä elämistä, jolloin ei liian suuresta värähtelystä haittaa ole. Värähtelymitoitus on aina tilannekohtainen ja suunnittelijan täytyy harkita, tarvitseeko värähtelyä tarkistaa.

Laskentapohjiin on tehty laskentamalli värähtelytarkastelusta, mikäli se halutaan joskus tarkastella, mutta työssä tutkittavaan katostyyppiin ei värähtelyä ole tarpeen tarkastella.

Lattiarungon mitoitusta varten tehdyt laskentapohjat ja esimerkkilaskenta löytyy liitteestä 4.

4.6 Jäykistys

Jäykistyksen tarkastaminen tässä työssä on vähäistä ja jätetään laskentapohjissakin yksinkertaiseksi. Katosmallissa, jota työssä tutkitaan, ei jäykistäminen ole ollut ongelmana, vaan jäykistysongelmia on ollut erityyppisissä autokatoksissa, mutta niihin ei oteta kantaa tässä työssä

4.6.1 Lähtötiedot

Autokatos täytyy jäykistää siihen kohdistuvia vaakakuormia vastaan. Tapoja, joilla jäykistys suoritetaan, on todella monia mutta tässä työssä tutkitaan kestääkö varastossa olevat osb-levyt jäykistämään autokatokseen syntyvät tuulikuormat. Laskentapohjiin tehty yksinkertainen laskenta jäykisteseinän mitoituksesta.

Todellisuudessa osa tuulikuormasta siirtyy suoraan pilaripalkki liitoksen välityksellä. Katossa oleva osb-levy toimii myös jäykistävänä osana katoksessa, mutta siihenkään ei oteta kantaa, vaan lasketaan suoraan varaston seinän jäykistekestävyys sitä kuormittavalle tuulikuormalle.

4.6.2 Kuormat

Kuormina jäykistävälle seinälle tulee tuulikuormaa, ja nostetarkastelua varten yläpuolisten rakenteiden omapaino. Tuulikuorman laskenta on aina tapauskohtaista riippuen mitä jäykisteseinää tarkastellaan. Koska tuulikuorma on ainoa kuorma jäykisteseinän kestävyyttä mitoittaessa, tulee sille varmuuskertoimeksi 1.5 kaavasta 6.

4.6.3 Jäykistysseinän mitoitus

Tutkittavassa seinässä on kaksi jäykistävää levyä, jotka ovat nauloin kiinnitetty seinärunkoon. Jäykistävän seinän kuormankestokapasiteetti määräytyy levyn paksuudesta ja naulojen koosta ja naulajaosta. Jäykistysseinän kestävyyttä tarkastellessa tulee täyttyä mitoitusehto kaavasta

$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} \leq 1 \quad (18)$$

missä

$F_{v.Ed}$ Vaakakuorman laskenta-arvo

$F_{v.Rd}$ Kaikkien levyjen kestävyyskapasiteetti yhteensä

Mikäli tarkastellaan yksinkertaisesti jonkun tietyn seinän kestävyyttä sitä kuormittavalle tuulikuormalle, on sen täytettävä mitoitusehto kaavasta 18. Esimerkkilaskelmissa mitoitusehto täyttyy, mutta todellisuudessa laskennassa on suuremmat kuormat mitä seinälle tulee.

4.6.4 Jäykistysseinän nostetarkastelu

Jäykistetarkastelun viimeiselle sivulle on vielä tehty nostetarkastelu, vaikka sitä ei välttämättä tarvitsisi tarkastella sen tarkemmin, koska tutkittavissa autokatoksissa kaikki seinät ankkuroidaan lattiarunkoon ja sitä kautta perustuksiin kiinni.

Vaikka tarkastelussa huomataan, että seinän toiseen reunaan syntyy nostetta tuulikuormasta, ei siitä ole haittaa, koska seinä tullaan kiinnittämään ruuveilla lattiaan.

Jäykistyksen mitoituksesta tehdyt laskentapohjat ja esimerkkilaskenta löytyy liitteestä 5.

5 SUUNNITTELU

Autokatoksen suunnitteluprosessi alkaa kuvien piirtämisellä, ja kuvista saaduista mitoista lähdetään mitoittamaan autokatoksen rakenteita. Mitoitustuloksista saadaan selville minkälaisia ja kokoisia rakenteita autokatoksissa on käytettävä.

5.1 Mitoituslaskelmat

Tähän työhön tehdyt mitoituslaskelmat ja laskentapohjat ovat autokatostyypille, jonka oli huomattu olleen suosituin. Mikäli laskentapohjia käyttää erityyppiselle autokatokselle, voi sen rakenteet olla erilaisia mitä laskentapohjissa on tarkasteltu. Tästä syystä ennen kuin laskentapohjia käyttää ja mitoittaa autokatoksia tulisi olla tietoinen mitä on mitoittamassa ja miten mitoittaminen toimii erityyppisille rakenteille

5.2 Kuvien piirtäminen

Kuvien piirtäminen autokatoxiin on tehty Autocad 2023 ohjelmalla. Piirtäessä rakennekuvia pitää kuvien täsmätä mitoituslaskemien kanssa, jotta mitoituslaskelmien tulokset tulevat käyttöön rakennettaessa autokatosta.

Liitteessä 6 löytyy pohjakuva ja julkisivukuvat autokatostyypistä, jota työssä tarkasteltiin. Kuvat on piirretty AutoCad 2023 ohjelmalla.

6 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli rakentaa laskentapohjat Kotikatos nimisen yrityksen puurakenteisille autokatoksille ja selvittää ratkaisuja autokatoksen mitoittamisen yhteydessä törmätyihin ongelmiin. Laskentapohjat rakennettiin autokatostyypille, jonka oli huomattu olevan suosituin. Kyseisessä autokatostyypissä oli löydettävissä ongelmakohtat, joihin haluttiin tarkastella ratkaisuja.

Työssä ei sinänsä joutunut uutta asiaa opiskella, vaan enemmän perehtyä jo koulussa opittuihin asioihin ja kirjallisuuteen. Tärkeimpänä apuna työssä käytin puurakenteiden lyhennettyä suunnitteluohjetta, Eurokoodi 5 kirjaa. Eurokoodi ohjeesta oli todella paljon hyötyä, ja sieltä löytyi kaikki tarvittava, mitä laskentapohjien rakentamiseen tarvitsi. Opinnäytetyöhön on otettu eurokoodista paljon kuvia ja taulukoita, koska ne ovat oleellisia mitoituslaskelmissa.

Ongelmakohtat, joita autokatosten mitoittamisessa oli aikaisemmin huomattu ja mihin haluttiin etsiä ratkaisuja, oli tukipainemitoituksessa tuleva liian suuri käyttöaste ja lattiarungon värähtely. Lattian värähtelystä huomasin, että eurokoodissa puhutaan värähtelyn mitoittamisesta vain asuin- ja toimistorakennuksille. Koska tutkittava lattiarakenne oli varaston lattiarakenne, ei värähtelyä tarvitse siinä edes huomioida. Tukipainekestävyyteen voisi löytää myös monta erilaista ratkaisutapaa, mutta helpoimmaksi ratkaisuksi työssä totesin olevan yksinkertaisesti tuen kasvattaminen puulla.

Laskentapohjiin kuormien arvot otettiin suuremmaksi, mitä ne todellisuudessa tulisi olemaan ja mitat otettiin suosituimmasta katostyypistä. Laskentapohjista tuli mielestäni hyvät ja helppokäyttöiset, ja kaikki kestävyyskäyttöasteet saatiin alle 100 %:n. Voidaan siis todeta, että ongelmiin mitä mitoituksessa oli aikaisemmin huomattu, on löydettävissä ratkaisuja, ja niitä löydettiin. Kuormien ollessa suurempia mitä todellisuudessa ne olisivat, oli hyvä huomata, että kestävyyskäyttöasteet voidaan silti saada alle vaaditun rajan.

LÄHTEET

Japan-guide.com. Horyuji Temple. Viitattu 7.3.2024. <https://www.japan-guide.com/e/e4104.html>

Puuinfo Oy. 2020b. Sahatavaran mitat ja mittapoikkeamat. Viitattu 4.3.2024 <https://puuinfo.fi/puutieto/sahatavara-ja-sen-jalosteet/mitat-ja-mittapoikkeamat/>

Pro-puu yhdistys. n.d. Sahaustapoja. Viitattu 4.3.2024 <https://puuproffa.fi/puutieto/puun-sahaus/sahaustapoja/>

Pro puu -keskus. n.d. Kevätpäivänsahaus. Viitattu 4.3.2024. <https://propuu.fi/kevatpaivan-sahaus/>

Puuinfo Oy. 2020a. Sahatavaran lujuuslajittelu. Viitattu 4.3.2024 <https://puuinfo.fi/puutieto/sahatavara-ja-sen-jalosteet/sahatavaran-lujuuslajittelu-2/>

Puuinfo Oy. 2020c. Liimapuu. Viitattu 4.3. 2024. <https://puuinfo.fi/puutieto/in-sinoorituotteet/liimapuu-glt/>

Puuinfo Oy. 2020. Puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje. Viides painos. Eurokoodi 5. Puuinfo Oy

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2017. RIL 205-1-2017 Puurakenteiden suunnitteluohje Eurokoodi. Helsinki; Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2017. Korjaukset ohjeeseen RIL 205-1-2017 1. painos. Helsinki; Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry

Thermory. 2024. Puu rakennusmateriaalina. Viitattu 7.3.2024 <https://thermory.com/fi/blogi/puu-rakennusmateriaalina/>

LIITTEET

Liite 1. Kattoniskan mitoitus

1(5)

1. Kattoniskojen mitoitus

Sahatavara C24 käyttöluokka 2. Yksiaukkoinen pituutensa vuoksi

$k_{jako.kattoniska} := 500 \cdot mm$	Kattoniskojen jako (kuormitusleveys)
$b_{kattoniska} := 48 \cdot mm$	Kattoniskan leveys
$h_{kattoniska} := 148 \cdot mm$	Kattoniskan korkeus
$L_{kattoniska} := 3300 \cdot mm$	Kattoniskan pituus
$a := 250 \cdot mm$	Kiepahdustukiväli
$X_{cy} := 1$ $X_{cz} := 1$	Nurjahduspituuskertoimet
$L_{cy} := X_{cy} \cdot L_{kattoniska} = 3300 \text{ mm}$	Nurjahduspituus
$L_{cz} := X_{cz} \cdot a = 250 \text{ mm}$	Nurjahduspituus

Materiaalilujuuksien korjauskertoimet

$\gamma_M := 1.3$	Materiaaliosavarmuus (sahatavara)
$k_{mod} := 0.8$	Muunnoskerroin (keskipitkä)
$k_{def} := 0.8$	Käyttöluokasta riippuva materiaalin ja liitoksen virumaluku
$k_{cr} := 1$	Sauvan halkeilun huomioiva kerroin

Materiaalilujuudet

	Käyttörajatilassa:	Murtorajatilassa:
Taivutuslujuus:	$f_{m,k} := 24 \cdot \frac{N}{mm^2}$	$f_{m,d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 14.769 \frac{N}{mm^2}$
Vetolujuus syysuunnassa:	$f_{L0,k} := 14.5 \cdot \frac{N}{mm^2}$	$f_{m,d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{L0,k}}{\gamma_M} = 8.923 \frac{N}{mm^2}$
Vetolujuus syiden poikkisuunnassa:	$f_{L90,k} := 0.4 \cdot \frac{N}{mm^2}$	$f_{m,d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{L90,k}}{\gamma_M} = 0.246 \frac{N}{mm^2}$

2(5)

Puristuslujuus kohtisuoraan syitä vastaan:	$f_{c,0,k} := 21 \cdot \frac{N}{mm^2}$	$f_{m,d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 12.923 \frac{N}{mm^2}$
Puristuslujuus syiden poikkisuunnassa:	$f_{c,90,k} := 2.5 \cdot \frac{N}{mm^2}$	$f_{m,d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 1.538 \frac{N}{mm^2}$
Leikkauslujuus:	$f_{v,k} := 4.0 \cdot \frac{N}{mm^2}$	$f_{m,d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 2.462 \frac{N}{mm^2}$
$E_{mean} := 11000 \cdot \frac{N}{mm^2}$	Kimmokerroin	

Kuormat katoniskoille

Pystykuormat:

Kattorakenteen omapaino:

$$g_{kattopelti} := 0.07 \cdot \frac{kN}{m^2} \quad \text{Kattopellin omapaino}$$

$$g_{kattopelti,m} := g_{kattopelti} \cdot k_{jako,kattoniska} = 0.035 \frac{kN}{m} \quad \text{Kattopellin omapaino kattoniska metrille}$$

$$h_{osb} := 18 \cdot mm \quad \text{OSB-levyn paksuus.}$$

$$\rho_{osb} := 6.5 \cdot \frac{kN}{m^3} \quad \text{OSB-levyn tiheys}$$

$$g_{osb} := h_{osb} \cdot \rho_{osb} = 0.117 \frac{kN}{m^2} \quad \text{OSB-levyn omapaino neliöltä}$$

$$g_{osb,m} := g_{osb} \cdot k_{jako,kattoniska} = 0.059 \frac{kN}{m} \quad \text{OSB-levyn omapaino kattoniska metrille}$$

$$\rho_{puu} := 5 \cdot \frac{kN}{m^3} \quad \text{Sahatavaran tiheys}$$

$$g_{kattoniska} := b_{kattoniska} \cdot h_{kattoniska} \cdot \rho_{puu} = 0.036 \frac{kN}{m} \quad \text{Kattoniskan omapaino metrille}$$

$$G_{yp,k} := g_{kattopelti,m} + g_{osb,m} + g_{kattoniska} = 0.129 \frac{kN}{m} \quad \text{Kattorakenteen omapaino metrille}$$

Lumikuorma

$$q_{s,k} := 2.75 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

Lumikuorman ominaisarvo maassa

$$\mu := 0.8$$

Katon muotokerroin (alle 30 asteinen kattokulma)

$$q_k := \mu \cdot q_{s,k} = 2.2 \frac{kN}{m^2}$$

Lumikuorman arvo katolla

$$Q_k := q_k \cdot k_{jako,kattoniska} = 1.1 \frac{kN}{m}$$

Lumikuorma kattoniska metrille

$$P_d := 1.5 \cdot Q_k + 1.15 \cdot G_{yp,k} = 1.798 \frac{kN}{m}$$

Laskentakuorma kattoniskalle

$$V_d := \frac{P_d \cdot L_{kattoniska}}{2} = 2.967 \text{ kN}$$

Max. Leikkausvoiman ja tukireaktion laskenta-arvo (tasainen kuorma)

$$M_d := \frac{P_d \cdot L_{kattoniska}^2}{8} = 2.448 \text{ kN} \cdot m$$

Taivutusmomentin laskenta-arvo (tasainen kuorma)

Kattoniskan mitoitus

Taivutuskestävyys ilman kiepahdusta

$$W := \frac{b_{kattoniska} \cdot h_{kattoniska}^2}{6} = (1.752 \cdot 10^5) \text{ mm}^3$$

Kattoniskan poikkileikkauksen taivutusvastus

$$\sigma_{m,y,d} := \frac{M_d}{W} = 13.97 \frac{N}{mm^2}$$

Taivutusjännityksen laskenta-arvo

$$f_{m,y,d} := \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = 14.769 \frac{N}{mm^2}$$

Taivutuslujuuden laskenta-arvo

$$KA_1 := \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = 94.6\%$$

Mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste

Taivutuskestävyys kiepahdus huomioiden

$$l_{ef} := a + 2 \cdot h_{katttoniska} = 546 \text{ mm} \quad \text{Tehollinen kiepahdustukiväli (pisin ristikkojako)}$$

$$\frac{l_{ef}}{b_{katttoniska}} = 11.375 \quad \frac{h_{katttoniska}}{b_{katttoniska}} = 3.083 \quad \text{Apusuureet käyrän (EC5 kuva 5.4) tulkitsemiseen}$$

$$k_{crit} := 1 \quad \text{Kiepahduskerroin käyrästä tulkittuna (EC5 kuva 5.4)}$$

$$KA_2 := \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} = 94.6\% \quad \text{Mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste}$$

Leikkauskestävyys

$$A := b_{katttoniska} \cdot h_{katttoniska} = 7104 \text{ mm}^2 \quad \text{Palkin poikkileikkauksen pinta-ala}$$

$$\tau_d := 1.5 \cdot \frac{V_d}{A} = 0.627 \frac{N}{\text{mm}^2} \quad \text{Leikkausjännityksen laskenta-arvo}$$

$$f_{v,d} := \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = 2.462 \frac{N}{\text{mm}^2} \quad \text{Leikkauslujuuden laskenta-arvo}$$

$$KA_3 := \frac{\tau_d}{f_{v,d}} = 25.5\% \quad \text{Mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste}$$

Taipuma

$$w_{sall} := \frac{L_{katttoniska}}{200} = 16.5 \text{ mm} \quad \text{Sallittu taipuma toisiokannattimelle (EC5 taulukko 4.1)}$$

$$I := \frac{b_{katttoniska} \cdot h_{katttoniska}^3}{12} = (1.297 \cdot 10^7) \text{ mm}^4 \quad \text{Jäyhyysmomentti}$$

$$w_{inst.g} := \frac{5 \cdot G_{yp,k} \cdot L_{katttoniska}^4}{384 \cdot E_{mean} \cdot I} = 1.397 \text{ mm} \quad \text{Pysyvän kuorman aiheuttama hetkellinen taipuma}$$

$$w_{inst.q} := \frac{5 \cdot Q_k \cdot L_{katttoniska}^4}{384 \cdot E_{mean} \cdot I} = 11.908 \text{ mm} \quad \text{Lumikuorman aiheuttama hetkellinen taipuma}$$

$$w_{net} := (1 + k_{def}) \cdot w_{inst.g} + (1 + 0.2 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst.q} = 16.328 \text{ mm} \quad \text{Palkin lopullinen kokonaistaipuma, viruma huomioiden}$$

$$KA_4 := \frac{w_{net}}{w_{sall}} = 99\% \quad \text{Mitoitusehto ja käyttöaste}$$

Tukipainekestävyys

(Tarkastellaan tukipaine keskimmaisella palkilla, koska siellä pienempi tuki)

$$b_{tuki.1} := 115 \cdot \text{mm}$$

Palkin leveys = Leveämmän tuen leveys

$$b_{tuki.2} := \frac{b_{tuki.1}}{2} = 57.5 \text{ mm}$$

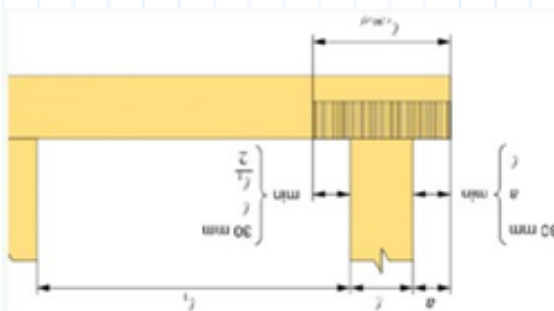
Toisen tuen leveys. (jaettu kahdella koska palkille tulee jatkos katoniskalle)

$$\sigma_{c.90.d} := \frac{V_d}{b_{kattotiska} \cdot b_{tuki.2}} = 1.075 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Syitä vastaan kohtisuoraan puristusjännityksen laskenta-arvo

$$f_{c.90.d} := \frac{k_{mod} \cdot f_{c.90.k}}{\gamma_M} = 1.538 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Syitä vastaan kohtisuoraan puristuslujuuden laskenta-arvo



Tukipainetilanteen lähtötiedot:

$$l_1 := L_{kattotiska} - b_{tuki.1} - b_{tuki.2} = 3127.5 \text{ mm}$$

$$l := b_{tuki.2} = 57.5 \text{ mm}$$

$$a := 0 \cdot \text{mm}$$

$$l_{c.90.ef} := \min(30 \cdot \text{mm}, a, l) + l + \min\left(30 \cdot \text{mm}, l, \frac{l_1}{2}\right) = 87.5 \text{ mm}$$

Tehollinen tukipaine

$$k_{c.90} := 1.5$$

lisäkerroin. EC5 s. 24

$$k_{c.t} := \frac{l_{c.90.ef}}{l} \cdot k_{c.90} = 2.283$$

Tukipainekerroin

$$KA_5 := \frac{\sigma_{c.90.d}}{k_{c.t} \cdot f_{c.90.d}} = 30.6\%$$

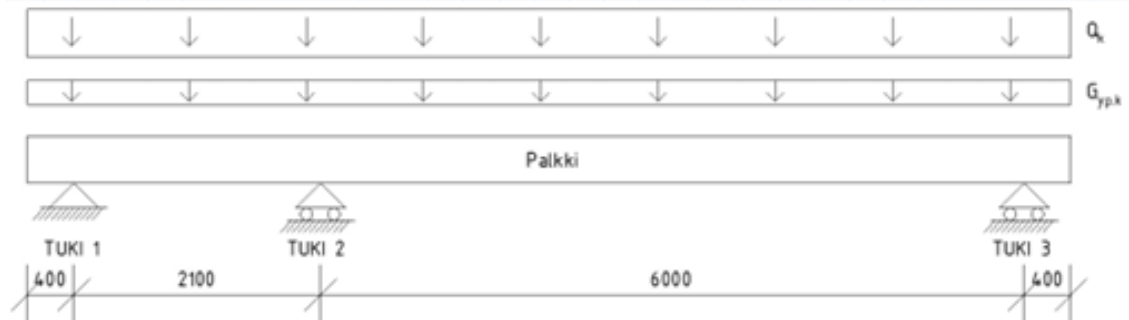
Mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste

$$KA_{katospalkki} := \max(KA_1, KA_2, KA_3, KA_4, KA_5) = 99\%$$

Kestää kun kaikki kestävyyskäyttöasteet ovat alle 100%. Tässä tapauksessa taipuma lähes 100%

Käyttöasteita saa helposti pienennettyä k jakoa pienentämällä tai kattotiskan poikkileikkausta suurentamalla

2. Liimapuupalkin mitoitus



Palkin materiaali ja mitat:

Palkkimateriaalina GL-30c liimapuu

$$f_{m,k} := 30 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Taivutuslujuuden ominaisarvo

$$f_{v,k} := 3.5 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Leikkauslujuuden ominaisarvo

$$f_{c,90,k} := 2.5 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Sytä vastaan kohtisuoraan puristuslujuuden ominaisarvo

$$E_{mean} := 13000 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Kimmomoduuli (taipuman laskentaan)

$$k_{mod} := 0.8$$

Kuorman aikaluokan ja materiaalin käyttöluokan huomioiva kerroin (Keskipitkä)

$$\gamma_M := 1.25$$

Materiaalin osavarmuusluku (Liimapuulle)

$$L_{palkki,kok} := 8900 \cdot mm$$

Palkin kokonaispituus

$$L_{palkki,1} := 6000 \cdot mm$$

Palkin pidempi jänneväli

$$L_{palkki,2} := 2100 \cdot mm$$

Palkin lyhyempi jänneväli

$$b_{palkki} := 115 \cdot mm$$

Palkin poikkileikkauksen paksuus

$$h_{palkki} := 405 \cdot mm$$

Palkin poikkileikkauksen korkeus

$$k_{jako,kattotiska} = 500 \cdot mm$$

Kattoniskojen jako palkin päällä

$$k_{pilarijako} := 2943 \cdot mm$$

Leveys jolta niskoilta tulevat kuormat välittyvät palkille

Kuormat:

Palkille tulee lumikuorma, palkin yläpuolisen rakenteen kuorma ja omapaino. Lumikuorma ja kattorakenteen omapaino saadaan kattoniska mitoituksesta. Maksimivoimien laskentaan haettu kaavat structx sovelluksesta netistä.

$$q_{s,k} = 2.75 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{Lumikuorman ominaisarvo maassa}$$

$$\mu := 0.8 \quad \text{Katon muotokerroin (alle 30 asteinen kattokulma)}$$

$$q_k := \mu \cdot q_{s,k} = 2.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{Lumikuorman arvo katolla}$$

$$Q_k := q_k \cdot k_{\text{pilarijako}} = 6.475 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Lumikuorma palkkimetrille}$$

$$g_{\text{palkki}} := h_{\text{palkki}} \cdot b_{\text{palkki}} \cdot \rho_{\text{puu}} = 0.233 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Palkin omapaino metrille}$$

$$G_{\text{yp,k}} := \frac{g_{\text{kattopelti,m}} + g_{\text{osb,m}} + g_{\text{kattoniska}}}{k_{\text{jako,kattoniska}}} = 0.258 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{Kattorakenteen omapaino neliölle}$$

$$G_k := G_{\text{yp,k}} \cdot k_{\text{pilarijako}} + g_{\text{palkki}} = 0.992 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Kattorakenteen omapaino palkkimetrille}$$

$$P_d := 1.5 \cdot Q_k + 1.15 \cdot G_k = 10.853 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Laskentakuorma palkille}$$

Maksimi voimasuureiden laskentaa

$$M_1 := \frac{P_d \cdot L_{\text{palkki.1}}^3 + P_d \cdot L_{\text{palkki.2}}^3}{8 \cdot (L_{\text{palkki.1}} + L_{\text{palkki.2}})} = -37.728 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Momentin suuruus tuella 2}$$

$$T_1 := \frac{M_1}{L_{\text{palkki.2}}} + \frac{P_d \cdot L_{\text{palkki.2}}}{2} = -6.57 \text{ kN} \quad \text{Tuen 1 tukireaktio ja leikkausvoiman suuruus tuella.}$$

$$T_3 := \frac{M_1}{L_{\text{palkki.1}}} + \frac{P_d \cdot L_{\text{palkki.1}}}{2} = 26.271 \text{ kN} \quad \text{Tuen 3 tukireaktio ja leikkausvoiman suuruus tuella.}$$

$$T_2 := P_d \cdot L_{\text{palkki.2}} + P_d \cdot L_{\text{palkki.1}} - T_1 - T_3 = 68.208 \text{ kN} \quad \text{Tuen 2 tukireaktio}$$

$$T_{y,d} := \max(T_1, T_2, T_3) = 68.208 \text{ kN} \quad \text{Maksimi tukireaktio tuella 2 (tarkastellaan tukipainekestävyys tuella 2)}$$

$$V_2 := P_d \cdot L_{palkki.2} - T_1 = 29.361 \text{ kN} \quad \text{Leikkausvoiman suuruus keskimmäisen tuen vasemmassa reunassa}$$

$$V_3 := P_d \cdot L_{palkki.1} - T_3 = 38.847 \text{ kN} \quad \text{Leikkausvoiman suuruus keskimmäisen tuen oikeassa reunassa}$$

$$\bar{V}_d := \max(T_1, V_2, V_3, T_3) = 38.847 \text{ kN} \quad \text{Maksimi leikkausvoiman laskenta-arvo}$$

$$x := \frac{T_3}{P_d} = 2420.625 \text{ mm} \quad \text{Maksimimomentin sijainti pidemmän jännevälin alueella}$$

$$M_2 := T_3 \cdot x - \frac{P_d \cdot x^2}{2} = 31.796 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Maksimimomentti pidemmän jännevälin alueella}$$

$$\bar{M}_d := \max(|M_1|, |M_2|) = 37.728 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Taivutusmomentin maksimiarvo (Laskenta-arvo)}$$

Liimapuupalkin mitoitus

Taivutuskestävyys ilman kiepahdusta

$$\bar{W} := \frac{b_{palkki} \cdot h_{palkki}^2}{6} = (3.144 \cdot 10^6) \text{ mm}^3 \quad \text{Palkkipoikkileikkauksen taivutusvastus}$$

$$\sigma_{m.y.d} := \frac{M_d}{W} = 12.001 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{Taivutusjännityksen laskenta-arvo}$$

$$f_{m.y.d} := \frac{k_{mod} \cdot f_{m.k}}{\gamma_M} = 19.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{Taivutuslujuuden laskenta-arvo}$$

$$\bar{KA}_1 := \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.y.d}} = 62.5\% \quad \text{Mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste}$$

Taivutuskestävyys kiepahdus huomioiden

$$\bar{a} := k_{jako,kattoniska} = 500 \text{ mm}$$

Kiepahdustuettu kattoniskajaon mukaisesti

$$l_{ef} := a + 2 \cdot h_{palkki} = 1310 \text{ mm}$$

Tehollinen kiepahdustukiväli

$$\frac{l_{ef}}{b_{palkki}} = 11.391$$

$$\frac{h_{palkki}}{b_{palkki}} = 3.522$$

Apusuureet käyrän (EC5 kuva 5.4) tulkitsemiseen.

$$k_{crit} := 1$$

Kiepahduskerroin käyrästä tulkittuna (EC5 kuva 5.4).

$$KA_2 := \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} = 62.5\%$$

Mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste

Leikkauskestävyys

$$A_{palkki} := b_{palkki} \cdot h_{palkki} = 46575 \text{ mm}^2$$

Palkin poikkileikkauksen pinta-ala

$$\tau_d := 1.5 \cdot \frac{V_d}{A_{palkki}} = 1.251 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Leikkausjännityksen laskenta-arvo

$$f_{v,d} := \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = 2.24 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Leikkauslujuuden laskenta-arvo

$$KA_3 := \frac{\tau_d}{f_{v,d}} = 55.9\%$$

Mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste

Taipuma

$$w_{sall} := \frac{L_{palkki,1}}{300} = 20 \text{ mm}$$

Sallittu taipuma

$$k_{def} := 0.8$$

Virumaluku. EC5 Taulukko 3.2

$$J := \frac{b_{palkki} \cdot h_{palkki}^3}{12} = 636622031.25 \text{ mm}^4$$

Jäyhyysmomentti

$$w_{inst,g} := \frac{5 \cdot G_k \cdot L_{palkki,1}^4}{384 \cdot E_{mean} \cdot I} = 2.023 \text{ mm}$$

Pysyvän kuorman aiheuttama hetkellinen taipuma

$$w_{inst,q} := \frac{5 \cdot Q_k \cdot L_{palkki,1}^4}{384 \cdot E_{mean} \cdot I} = 13.202 \text{ mm}$$

Lumikuorman aiheuttama hetkellinen taipuma

$$w_{net} := (1 + k_{def}) \cdot w_{inst.g} + (1 + 0.2 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst.q} = 18.956 \text{ mm}$$

Palkin lopullinen kokonaistaipuma, viruma huomioiden

$$KA_4 := \frac{w_{net}}{w_{sall}} = 94.8\%$$

Mitoitusehto ja käyttöaste

Tukipainekestävyys (Varaston puolen tukipaine, pienempi tukileveys sillä puolen)

$$b_{tuki} := 115 \cdot \text{mm}$$

Palkin toisen pään tuen pituus (Pilari)

$$b_{tuki.seinä} := 175 \cdot \text{mm}$$

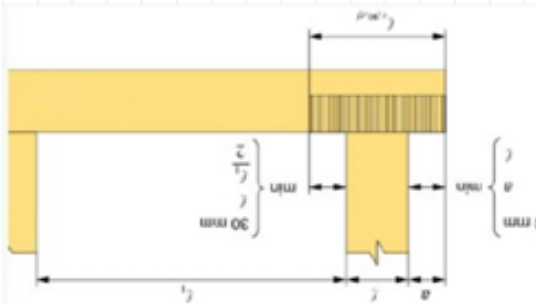
Palkin toisen pään pituus seinän päällä (toisen pään tukileveys)

$$\sigma_{c.90.d} := \frac{T_{y.d}}{b_{palkki} \cdot b_{tuki.seinä}} = 3.389 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Syitä vastaan kohtisuoraan puristusjännityksen laskenta-arvo

$$f_{c.90.d} := \frac{k_{mod} \cdot f_{c.90.k}}{\gamma_M} = 1.6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Syitä vastaan kohtisuoraan puristuslujuuden laskenta-arvo



Tukipainetilanteen lähtötiedot:

$$l_1 := L_{palkki.1} - b_{tuki.seinä} - b_{tuki} = 5710 \text{ mm}$$

$$b := b_{tuki.seinä} = 175 \text{ mm}$$

$$a := L_{palkki.2} = 2100 \text{ mm}$$

$$l_{c.90.ef} := \min(30 \cdot \text{mm}, a, l) + l + \min\left(30 \cdot \text{mm}, l, \frac{l_1}{2}\right) = 235 \text{ mm} \quad \text{Tehollinen tukipaine}$$

$$k_{c.90} := 1.75$$

lisäkerroin (EC5 s. 24) mukaan määriteltynä

$$k_{c.t} := \frac{l_{c.90.ef}}{l} \cdot k_{c.90} = 2.35$$

Tukipainekerroin

$$KA_5 := \frac{\sigma_{c.90.d}}{k_{c.t} \cdot f_{c.90.d}} = 90.1\%$$

Mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste

$$KA_{liimapuupalkki} := \max(KA_1, KA_2, KA_3, KA_4, KA_5) = 94.8\%$$

Kestää

3. Liimapuupilarin mitoitus

Pilarin materiaali ja mitat:

$$f_{c,0,k} := 21.5 \cdot \frac{N}{mm^2} \quad \text{puristuslujuuden ominaisarvo syysuunnassa}$$

$$f_{m,k} := 24 \cdot \frac{N}{mm^2} \quad \text{Taivutuslujuuden ominaisarvo}$$

$$\gamma_M := 1.25 \quad \text{Materiaalin osavarmuusluku (Liimapuu) \quad Tuulikuorma Q_k.tuuli}$$

$$b_{tolppa} := 115 \cdot mm \quad \text{Tolpan poikkileikkauksen paksuus}$$

$$h_{tolppa} := 115 \cdot mm \quad \text{Tolpan poikkileikkauksen korkeus}$$

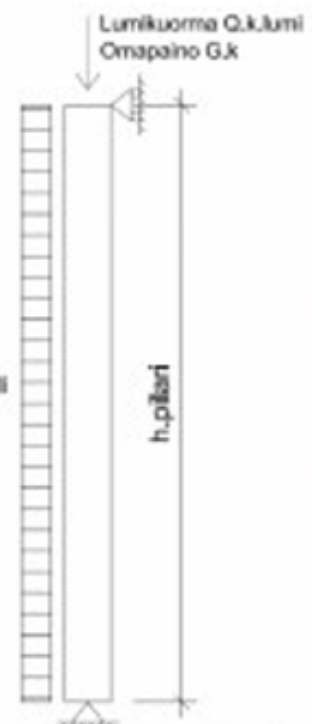
$$L_{tolppa} := 2800 \cdot mm \quad \text{Tolpan pituus}$$

$$k_{pilarijako} = 2943 \cdot mm \quad \text{Kantavien pilareiden jako}$$

$$L_{kattonniska} := 6888 \cdot mm \quad \text{Kattonniskan pituus}$$

$$k_{kuormitusleveys} := 4000 \cdot mm \quad \text{Kuormitusleveys jolta pilari kerää kuormat}$$

$$h_{seinä} := 3200 \cdot mm \quad \text{Ulkoseinän korkeus}$$



Kuormat (Lasketaan kuormat varmalle puolelle. Sijaintina suuri lumikuormainen)

Kattorakenteilta ja yläpohjasta tulevat kuormat palkille on laskettu edellisessä mitoituksessa. Sitä hyödyntämällä saadaan kuorma pilarille

$$G_{k,y.p} := \frac{g_{kattopelti,m} + g_{osb,m} + g_{kattonniska}}{k_{jako,kattonniska}} \cdot k_{pilarijako} + g_{palkki} = 0.992 \frac{kN}{m} \quad \text{Palkin ja kattorakenteen omapaino metrille}$$

$$G_{k,pilarille} := G_{k,y.p} \cdot k_{kuormitusleveys} = 3.969 \cdot kN \quad \text{Pilarin yläpuolisen rakenteen omapaino pilarille}$$

$$Q_k := q_k \cdot k_{pilarijako} = 6.475 \frac{kN}{m} \quad \text{Lumikuorma palkkimetrille}$$

$$Q_{k,tuuli} := Q_k \cdot k_{kuormitusleveys} = 25.898 \cdot kN \quad \text{Lumikuorman ominaisarvo mitoitettavalle pilarille}$$

Seinän omapaino:

$$b_{\text{verhous}} := 20 \cdot \text{mm}$$

Ulkoerhousen paksuus

$$b_{\text{runkotolppa}} := 48 \cdot \text{mm}$$

Seinän runkotolpan leveys

$$h_{\text{runkotolppa}} := 73 \cdot \text{mm}$$

Seinän runkotolpan paksuus

$$k_{\text{tolppajako}} := 600 \cdot \text{mm}$$

Seinän runkotolppajako

$$g_{\text{op.seinä}} := 2 \cdot b_{\text{verhous}} \cdot \rho_{\text{puu}} + \frac{b_{\text{tolppa}} \cdot h_{\text{tolppa}} \cdot \rho_{\text{puu}}}{k_{\text{tolppajako}}} = 0.31 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{Seinärakenteen neliöpaino}$$

Paneelien omapaino kerrottu kahdella, koska kyseisessä seinässä on ulkoerhouspaneeli molemmin puolin

$$G_k := G_{k,\text{pilarille}} + h_{\text{seinä}} \cdot k_{\text{kuormitusleveys}} \cdot g_{\text{op.seinä}} = 7.94 \text{ kN}$$

Pilarille kuormia tuottavien rakenteiden omapainon ominaisarvo

Tuulikuorman maastoluokka 2.

Rakennuksen korkeus noin 3.5m

$$q_{k,\text{tuuli}} := 0.47 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Tuulikuorman ominaisarvo.
(rakennuksen korkeus ja maastoluokka huomioiden)

$$b_{\text{rakennus}} := 8100 \cdot \text{mm}$$

Talon pidempi sivu

$$h_{\text{rakennus}} := 3514 \cdot \text{mm}$$

Talon korkeus

$$e := \min \left(b_{\text{rakennus}}, \frac{h_{\text{rakennus}}}{2} \right) = 1.757 \text{ m}$$

$$\frac{e}{5} = 0.351 \text{ m}$$

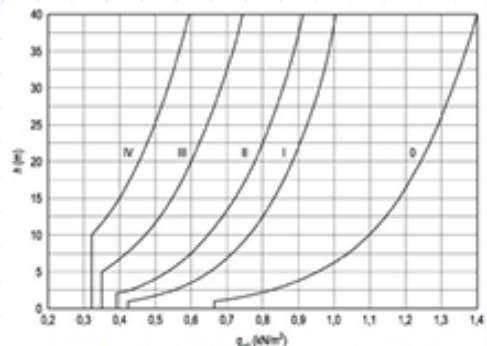
Alue talon nurkasta jossa käytetään nurkka-alueen nettopaine kertoimia
- Tarkasteltava alue ei nurkka-alueella

$$c_{p,\text{net}} := 1.1$$

Paikallisen tuulenpaineen nettopaine kerroin

$$Q_{k,\text{tuuli}} := k_{\text{kuormitusleveys}} \cdot q_{k,\text{tuuli}} \cdot c_{p,\text{net}} = 2.068 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Tuulikuorman ominaisarvo



Kuva 2.4 - Nopeuspaineen ominaisarvot $q_p(h)$ eri maastoluokissa, kun tuulenopeuden perusarvo $v_b = 21 \text{ m/s}$.

Kuormitusyhdistelmät	(pelkkä pysyvä ei määräävä, koska lumi mukana)
KT1: pysyvä + lumi	Keskipitkä aikaluokka
KT2: pysyvä + lumi + tuuli	Hetkellinen aikaluokka
KT3: pysyvä + tuuli + lumi	Hetkellinen aikaluokka
KT1: pysyvä + lumi	Keskipitkä aikaluokka
$P_{k,KT1} := G_k + Q_{k,lumi} = 33.838 \text{ kN}$	Pystykuorman ominaisarvo
$P_{d,KT1} := 1.15 \cdot G_k + 1.5 \cdot Q_{k,lumi} = 47.978 \text{ kN}$	Pystykuorman laskenta-arvo
$F_{d,KT1} := 0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	Tuulikuorman laskenta-arvo
$M_{d,KT1} := \frac{F_{d,KT1} \cdot L_{tolppa}^2}{8} = 0 \text{ kN} \cdot \text{m}$	Taivutusmomentin laskenta-arvo
KT2: pysyvä + lumi + tuuli	Hetkellinen aikaluokka
$P_{k,KT2} := G_k + Q_{k,lumi} = 33.838 \text{ kN}$	Pystykuorman ominaisarvo
$P_{d,KT2} := 1.15 \cdot G_k + 1.5 \cdot Q_{k,lumi} = 47.978 \text{ kN}$	Pystykuorman laskenta-arvo
$F_{d,KT2} := 0.9 \cdot Q_{k,tuuli} = 1.861 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	Tuulikuorman laskenta-arvo
$M_{d,KT2} := \frac{F_{d,KT2} \cdot L_{tolppa}^2}{8} = 1.824 \text{ kN} \cdot \text{m}$	Taivutusmomentin laskenta-arvo
KT3: pysyvä + tuuli + lumi	Hetkellinen aikaluokka
$P_{k,KT3} := G_k + Q_{k,lumi} = 33.838 \text{ kN}$	Pystykuorman ominaisarvo
$P_{d,KT3} := 1.15 \cdot G_k + 1.05 \cdot Q_{k,lumi} = 36.324 \text{ kN}$	Pystykuorman laskenta-arvo
$F_{d,KT3} := 1.5 \cdot Q_{k,tuuli} = 3.102 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	Tuulikuorman laskenta-arvo
$M_{d,KT3} := \frac{F_{d,KT3} \cdot L_{tolppa}^2}{8} = 3.04 \text{ kN} \cdot \text{m}$	Taivutusmomentin laskenta-arvo

Mitoitus nurjahdukselle poikkileikkauksen vahvemmassa suunnassa Poikkileikkauksen heikomman suunnan nurjahdus on estetty

Nurjahduskerroin poikkileikkauksen vahvemmassa suunnassa:

$$L_{c,y} := 1.0 \cdot L_{tolppa} = 2800 \text{ mm}$$

Nurjahduspituus (molemmat päät nivelöity)

$$i_y := \frac{h_{tolppa}}{\sqrt{12}} = 33.198 \text{ mm}$$

Poikkileikkauksen jäyhyysäde, vahvemmassa suunnassa

$$\lambda_y := \frac{L_{c,y}}{i_y} = 84.343$$

Poikkileikkauksen hoikkuus vahvemmassa suunnassa

$$k_{c,y} := 0.53$$

Nurjahduskerroin, kuvasta 5,5 (C24 sahatavarelle)

KT1: Nurjahdusmitoitus

Keskipitkä aikaluokka

$$k_{mod} := 0.8$$

Kuorman aikaluokan ja materiaalin käyttöluokan huomioiva kerroin

$$f_{m,d} := \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = 15.36 \frac{N}{mm^2}$$

Taivutuslujuuden laskenta-arvo

$$f_{c,0,d} := \frac{k_{mod} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 13.76 \frac{N}{mm^2}$$

Syysuuntaisen puristuslujuuden laskenta-arvo

$$\sigma_{c,0,d,KT1} := \frac{P_{d,KT1}}{b_{tolppa} \cdot h_{tolppa}} = 3.628 \frac{N}{mm^2}$$

Puristusjännityksen laskenta-arvo

$$\sigma_{m,d,KT1} := \frac{6 \cdot M_{d,KT1}}{b_{tolppa} \cdot h_{tolppa}^2} = 0 \text{ Pa}$$

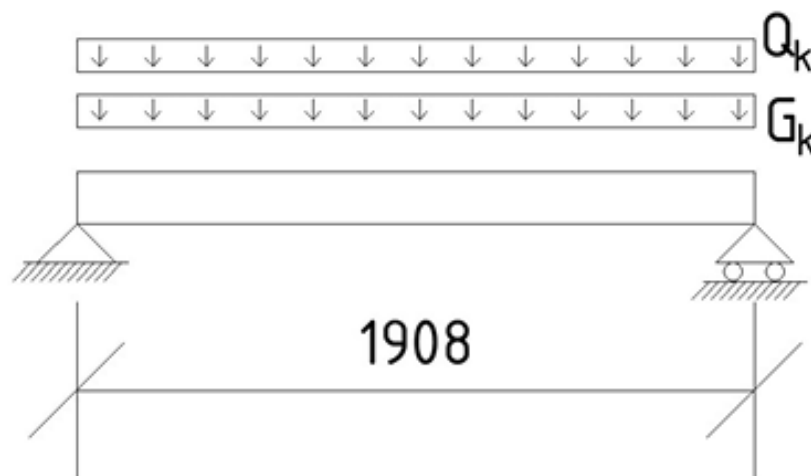
Taivutusjännityksen laskenta-arvo

$$KA_{KT1} := \frac{\sigma_{m,d,KT1}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d,KT1}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = 49.7\%$$

Mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste

KT2: Nurjahdusmitoitus	Hetkellinen aikaluokka
$k_{mod} := 1.1$	Kuorman aikaluokan ja materiaalin käyttöluokan huomioiva kerroin
$f_{m,d} := \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = 21.12 \frac{N}{mm^2}$	Taivutuslujuuden laskenta-arvo
$f_{c,0,d} := \frac{k_{mod} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 18.92 \frac{N}{mm^2}$	Syysuuntaisen puristuslujuuden laskenta-arvo
$\sigma_{c,0,d,KT2} := \frac{P_{d,KT2}}{b_{tolppa} \cdot h_{tolppa}} = 3.628 \frac{N}{mm^2}$	Puristusjännityksen laskenta-arvo
$\sigma_{m,d,KT2} := \frac{6 \cdot M_{d,KT2}}{b_{tolppa} \cdot h_{tolppa}^2} = 7.196 \frac{N}{mm^2}$	Taivutusjännityksen laskenta-arvo
$KA_{KT2} := \frac{\sigma_{m,d,KT2}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d,KT2}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = 70.2\%$	Mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste
KT3: Nurjahdusmitoitus	Hetkellinen aikaluokka
$k_{mod} := 1.1$	Kuorman aikaluokan ja materiaalin käyttöluokan huomioiva kerroin
$f_{m,d} := \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = 21.12 \frac{N}{mm^2}$	Taivutuslujuuden laskenta-arvo
$f_{c,0,d} := \frac{k_{mod} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 18.92 \frac{N}{mm^2}$	Syysuuntaisen puristuslujuuden laskenta-arvo
$\sigma_{c,0,d,KT3} := \frac{P_{d,KT3}}{b_{tolppa} \cdot h_{tolppa}} = 2.747 \frac{N}{mm^2}$	Puristusjännityksen laskenta-arvo
$\sigma_{m,d,KT3} := \frac{6 \cdot M_{d,KT3}}{b_{tolppa} \cdot h_{tolppa}^2} = 11.993 \frac{N}{mm^2}$	Taivutusjännityksen laskenta-arvo
$KA_{KT3} := \frac{\sigma_{m,d,KT3}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d,KT3}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = 84.2\%$	Mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste
$KA_{tolppa} := \max(KA_{KT1}, KA_{KT2}, KA_{KT3}) = 84.2\%$	Kestää nurjahtamatta

4. Lattiarungon mitoitus



Lattian materiaali ja mitat: Lattian materiaali C24

$$f_{m,k} := 24 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Taivutuslujuuden ominaisarvo

$$f_{v,k} := 4.0 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Leikkauslujuuden ominaisarvo

$$f_{c,90,k} := 2.5 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Syitä vastaan kohtisuoraan puristuslujuuden ominaisarvo

$$E_{meani} := 11000 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Kimmomoduuli (taipuman ja värähtelyn laskentaan)

$$k_{mod} := 0.8$$

Kuorman aikaluokan ja materiaalin käyttöluokan huomioiva kerroin (Keskipitkä)

$$\gamma_M := 1.3$$

Materiaalin osavarmuusluku (Sahatavaralle)

$$L_{palkki} := 1908 \cdot mm$$

Lattiapalkin pituus

$$b_{palkki} := 48 \cdot mm$$

Palkin poikkileikkauksen paksuus

$$h_{palkki} := 148 \cdot mm$$

Palkin poikkileikkauksen korkeus

$$k_{jako} := 400 \cdot mm$$

Lattiapalkkijako

$$\rho_{puu} := 5 \cdot \frac{kN}{m^3}$$

Puumateriaalin omapaino (tiheys)

$$b_{tuki} := 85 \cdot mm$$

Palkin tukipinnan leveys (Palkkikenkä)

Kuormat: Lattiapalkille kuormaa lattiarakenteen omasta painosta ja hyötykuormasta

$$q_{hyöty} := 7.5 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

Lattiaan kohdistuva hyötykuorma neliölle (Varasto)

$$h_{lattialevy} := 22 \cdot mm$$

Lattiassa olevan lastulevyn paksuus

$$g_{lattialevy} := h_{lattialevy} \cdot \rho_{puu} = 0.11 \frac{kN}{m^2}$$

Lastulevyn neliöpaino

$$g_{op.palkki} := h_{palkki} \cdot b_{palkki} \cdot \rho_{puu} = 0.036 \frac{kN}{m}$$

Palkin omapaino metrille

$$G_k := g_{op.palkki} + g_{lattialevy} \cdot k_{jako} = 0.08 \frac{kN}{m}$$

Omapainon ominaisarvo

$$Q_k := q_{hyöty} \cdot k_{jako} = 3 \frac{kN}{m}$$

Hyötykuorman ominaisarvo

$$P_d := 1.5 \cdot Q_k + 1.15 \cdot G_k = 4.591 \frac{kN}{m}$$

Laskentakuorma

$$V_d := \frac{P_d \cdot L_{palkki}}{2} = 4.38 \text{ kN}$$

Max. Leikkausvoiman ja tukireaktion laskenta-arvo

$$M_d := \frac{P_d \cdot L_{palkki}^2}{8} = 2.089 \text{ kN} \cdot m$$

Taivutusmomentin laskenta-arvo

Mitoitus

Taivutuskestävyys (Ilman kiepahdusta)

$$W := \frac{b_{palkki} \cdot h_{palkki}^2}{6} = 175232 \text{ mm}^3$$

Palkkipoikkileikkauksen taivutusvastus

$$\sigma_{m.y.d} := \frac{M_d}{W} = 11.923 \frac{N}{mm^2}$$

Taivutusjännityksen laskenta-arvo

$$f_{m.y.d} := \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = 14.769 \frac{N}{mm^2}$$

Taivutuslujuuden laskenta-arvo

$$KA_1 := \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.y.d}} = 80.7\%$$

Mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste

Taivutuskestävyys (Kiepahdus huomioiden)!

$$\bar{a} := 600 \cdot \text{mm}$$

Kiepahdustukiväli

$$l_{ef} := a + 2 \cdot h_{palkki} = 896 \text{ mm}$$

Tehollinen kiepahdustukiväli

$$\frac{l_{ef}}{b_{palkki}} = 18.667 \quad \frac{h_{palkki}}{b_{palkki}} = 3.083 \quad \text{Apusuuret käyrän tulkitsemiseen.}$$

$$k_{crit} := 1$$

Kiepahduskertoimet käyrästä tulkittuna (kuva 5.4).

$$KA_2 := \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} = 80.7\%$$

Mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste

Leikkauskestävyys

$$A := b_{palkki} \cdot h_{palkki} = 7104 \text{ mm}^2$$

Palkin poikkileikkauksen pinta-ala

$$\tau_d := 1.5 \cdot \frac{V_d}{A} = 0.925 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Leikkausjännityksen laskenta-arvo

$$f_{v,d} := \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = 2.462 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Leikkauslujuuden laskenta-arvo

$$KA_3 := \frac{\tau_d}{f_{v,d}} = 37.6\%$$

Mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste

Taipuma

$$w_{sall} := \frac{L_{palkki}}{300} = 6.36 \text{ mm}$$

Sallittu kokonaistaipuma palkille

$$k_{def} := 0.8$$

Virumaluku. Taulukko 3.2

$$I_{palkki} := \frac{b_{palkki} \cdot h_{palkki}^3}{12} = 12967168 \text{ mm}^4$$

Jäyhyysmomentti

$$w_{inst,g} := \frac{5 \cdot G_k \cdot L_{palkki}^4}{384 \cdot E_{mean} \cdot I_{palkki}} = 0.096 \text{ mm}$$

Pysyvän kuorman aiheuttama hetkellinen taipuma

$$w_{inst,q} := \frac{5 \cdot Q_k \cdot L_{palkki}^4}{384 \cdot E_{mean} \cdot I_{palkki}} = 3.629 \text{ mm}$$

Hyötykuorman aiheuttama hetkellinen taipuma

$$w_{net} := (1 + k_{def}) \cdot w_{inst.g} + (1 + 0.2 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst.g} = 4.383 \text{ mm}$$

Palkin lopullinen kokonaistaipuma, viruma huomioiden

$$KA_4 := \frac{w_{net}}{w_{sall}} = 68.9\%$$

Mitoitusehto ja käyttöaste

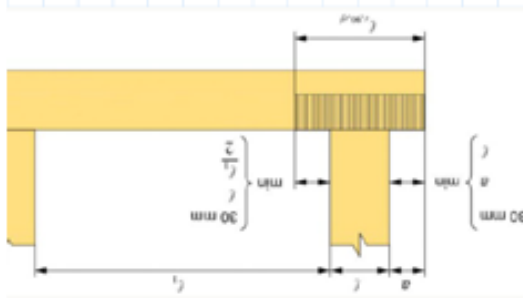
Tukipainekestävyys

$$\sigma_{c.90.d} := \frac{V_d}{b_{palkki} \cdot b_{tuki}} = 1.074 \frac{N}{mm^2}$$

Syitä vastaan kohtisuoraan puristusjännityksen laskenta-arvo

$$f_{c.90.d} := \frac{k_{mod} \cdot f_{c.90.k}}{\gamma_M} = 1.538 \frac{N}{mm^2}$$

Syitä vastaan kohtisuoraan puristuslujuuden laskenta-arvo



$$l_1 := L_{palkki} - b_{tuki} \cdot 2 = 1738 \text{ mm}$$

$$l := b_{tuki} = 85 \text{ mm} \quad \text{Tukipainetilanteen lähtötiedot}$$

$$a := 0 \cdot \text{mm}$$

$$l_{c.90.ef} := \min(30 \cdot \text{mm}, a, l) + l + \min\left(30 \cdot \text{mm}, l, \frac{l_1}{2}\right) = 115 \text{ mm} \quad \text{Tehollinen tukipaine}$$

$$k_{c.90} := 1.5$$

lisäkerroin. s. 24

$$k_{c.t} := \frac{l_{c.90.ef}}{l} \cdot k_{c.90} = 2.029$$

Tukipaine kerroin

$$KA_5 := \frac{\sigma_{c.90.d}}{k_{c.t} \cdot f_{c.90.d}} = 34.4\%$$

Mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste

$$KA_{lattiarunko} := \max(KA_1, KA_2, KA_3, KA_4, KA_5) = 80.7\%$$

Kestää

Seuraavalla sivulla tarkasteltu värähtely, vaikka sitä ei tämän tyyppisessä lattiarungossa tarvitsisi tarkastella.

Värähtely

$$I_{palkki} = 12967168 \text{ mm}^4 \quad \text{Palkin jäyhyysmomentti}$$

$$EI_L := E_{mean} \cdot I_{palkki} = 142638.848 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \quad \text{Taivutusjäykkyys yhtä lattiapalkkia kohden}$$

$$s := k_{jako} = 400 \text{ mm} \quad \text{Lattiapalkkijako}$$

$$m_m := \left(\frac{g_{op.palkki}}{L_{palkki}} + g_{lattialevy} \right) + 30 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 43.115 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Lattian oman painon ja hyötykuormasta 30 kg/m² -osuuden yhteenlaskettu massa palkin oma paino jaettu palkin mitalla --> saadaan oikea yksikkö

$$f_1 := \frac{\pi}{2 \cdot L_{palkki}^2} \cdot \sqrt{\frac{EI_L}{s \cdot m_m}} = 39.241 \text{ Hz} \quad \text{Lattiarakenteen alin ominaistajuuus}$$

$$KA_6 := \frac{9 \cdot \text{Hz}}{f_1} = 22.9\% \quad \text{Mitoitusehto ja käyttöaste}$$

Värähtelymitoitus, Pistekuormatarkastelu:

$$F := 1 \cdot \text{kN} \quad \text{Staattinen pistekuorma}$$

$$\delta_L := \frac{F \cdot L_{palkki}^3}{48 \cdot EI_L} = 1.015 \text{ mm} \quad \text{Lattiapalkin kohdalla sijaitsevan pistekuorman aiheuttama taipuma}$$

$$k_B := 0.5 \quad \text{Kerros ilman pintavalua}$$

$$k_s := \sqrt{\frac{s}{0.6 \cdot m}} = 0.816 \quad k_s := \begin{cases} \text{if } k_s \leq 0.5 & 0.5 \\ \text{else} & k_s \end{cases} = 0.816 \quad \text{Kerros, joka huomioi palkkivälin}$$

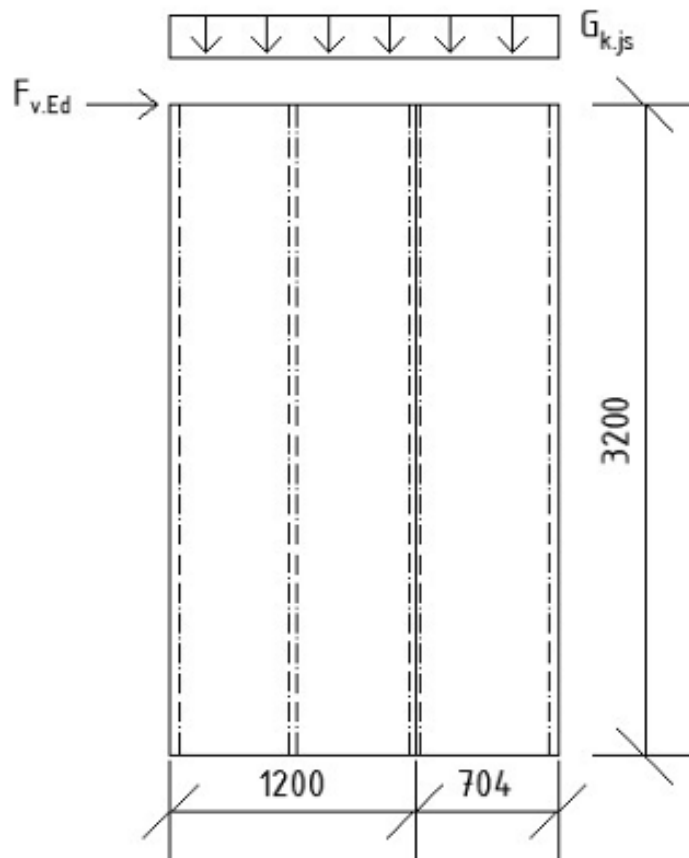
$$\delta := k_B \cdot k_s \cdot \delta_L = 0.414 \text{ mm} \quad \text{Pistekuorman aiheuttama taipuma lattiarakenteessa}$$

$$KA_7 := \frac{\delta}{0.5 \cdot \text{mm}} = 82.8\% \quad \text{Mitoitusehto ja käyttöaste}$$

$$KA_{lattiarunko} := \max(KA_1, KA_2, KA_3, KA_4, KA_5, KA_6, KA_7) = 82.8\% \quad \text{Kestää}$$

5. Jäykistys

Tarkastellaan etureunan jäykistys, koska siellä alueella vähiten jäykistävää seinää/muuta rakennetta. Muilla alueilla ja muihin suuntiin jäykistys toteutuu paremmin, joten tämä tarkastelu tärkein autokatoksissa.



Materiaali ja mitat:

$d := 2.3 \cdot mm$	Naulan paksuus
$l := 40 \cdot mm$	Naulan pituus
$\gamma_M := 1.3$	Materiaalin osavarmuusluku
$k_{mod} := 1.1$	Kuorman aikaluokan ja liitoksen käyttöluokan huomioiva kerroin
$\rho_k := 350 \cdot \frac{kg}{m^3}$	C24 sahatavara lujuuden ominaistiheys
$t := 11 \cdot mm$	$s := 150 \cdot mm$ Levyjen paksuus ja liitinjako
$h_{seinä} = 3200 \cdot mm$	Seinän korkeus
	$b_{seinä} := 1904 \cdot mm$ Seinän leveys

$k_{jako,jvs} := 3497 \cdot mm$ Leveys jolta lattian omapaino ja hyötykuorma kerääntyy kantavalle seinälle

Jäykistävän OSB-levyjen mitat

$b_{1a} := 1200 \cdot mm$ $b_{1b} := 704 \cdot mm$ Levyjen leveydet

Kuormat

$$q_{k,tuuli} = 0.47 \frac{kN}{m^2}$$

$b_{tuuli} := 1500 \cdot mm$ Leveys jolta tuulikuorma rasittaa seinää

$h_{tuuli} := h_{seinä} = 3.2 \text{ m}$ Korkeus jolta jäykistävä seinä kerää tuulikuormaa

$F_{v,Ek} := b_{tuuli} \cdot h_{tuuli} \cdot q_{k,tuuli} = 2.256 \text{ kN}$ Vaakakuorman ominais-arvo

Seinän päällä kulkee kantava pääpalkki, mutta sitä ei kannatella kyseisellä seinällä. Tarkastellaan seinää siten, että pystykuormana tulee kattorakenteen omapaino

$G_{k,js} := G_{k,yp} = 0.992 \frac{kN}{m}$ Omapainon ominaisarvo metrille

$F_{v,Ed} := 1.5 \cdot F_{v,Ek} = 3.384 \text{ kN}$ Vaakakuorman laskenta-arvo

Naulaliitoksen leikkausvoimakkestävyys:

$t_{tunkeuma} := l - t = 29 \text{ mm}$ $8 \cdot d = 18.4 \text{ mm}$ Naulan tunkeumat runkopuutavarassa, min tunkeuma 8d. OK

$k_{\rho} := \sqrt{\frac{\rho_k}{\frac{kg}{m^3}}} = 1$ Puutavaran tiheysvaikutuskerroin

$k_l := \left(0.5 + \frac{t}{12 \cdot d}\right) \cdot k_{\rho} = 0.899$ Naulan ja levyn paksuudesta johtuva kerroin

$t \geq 2 \cdot d = 1$ $d \leq 5 \cdot mm = 1$ Ehtojen tarkistus. OK

$$k_t := \begin{cases} \text{if } k_t \geq 1.2 \cdot k_p & = 0.899 \\ \parallel 1.2 \\ \text{else} \\ \parallel k_t \end{cases} \quad k_{l,2d} := \begin{cases} \text{if } t_{tunkeuma} \leq 12 \cdot d & = 1 \\ \parallel \frac{t_{tunkeuma}}{12 \cdot d} \\ \text{else} \\ \parallel 1 \end{cases}$$

Naulan ja levyn paksuudesta johtuvat kertoimet

$$R_k := 120 \cdot \left(\frac{d}{mm} \right)^{1.7} \cdot N = 0.494 \text{ kN} \quad \text{Ruuviiliitoksen ominaisleikkauskestävyys}$$

$$k_{levy} := 1.2 \quad \text{Levyjäykistykseen lisäkerroin, s.42}$$

$$F_{f,Rd} := \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot k_t \cdot k_{l,2d} \cdot k_{levy} \cdot R_k = 0.451 \text{ kN} \quad \text{Yksittäisen liittimen leikkausvoimakestävyys}$$

Jäykistysseinän mitoitus:

$$c_{1a} := \begin{cases} \text{if } b_{1a} \geq \frac{h_{seinä}}{2} & = 0.75 \\ \parallel 1 \\ \text{else} \\ \parallel \frac{2 \cdot b_{1a}}{h_{seinä}} \end{cases} \quad c_{1b} := \begin{cases} \text{if } b_{1b} \geq \frac{h_{seinä}}{2} & = 0.44 \\ \parallel 1 \\ \text{else} \\ \parallel \frac{2 \cdot b_{1b}}{h_{seinä}} \end{cases}$$

Levyjen leveydestä ja seinän korkeudesta riippuva kerroin

Levyt vain toisella puolella seinää

Levyjen kapasiteetit:

$$F_{1a.v.Rd} := \frac{F_{f,Rd} \cdot b_{1a} \cdot c_{1a}}{s} = 2.707 \text{ kN} \quad \text{1. levyn kapasiteetti}$$

$$F_{1b.v.Rd} := \frac{F_{f,Rd} \cdot b_{1b} \cdot c_{1b}}{s} = 0.932 \text{ kN} \quad \text{2. levyn kapasiteetti}$$

$$F_{v.Rd} := F_{1a.v.Rd} + F_{1b.v.Rd} = 3.638 \text{ kN} \quad \text{Levyjen kestävyyskapasiteetti yhteensä}$$

$$KA_{JS} := \frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} = 93\% \quad \text{Mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste} \quad \textbf{Kestää}$$

Todellisuudessa osa tuulikuormasta siirtyy suoraan pilari-palkkiliitoksen kautta ja kattorakenteen osb-levyn kautta, joten käyttöaste todellisuudessa luultavasti pienempi. Laskenta tehty yksinkertaistetusti siten että kaikki kuorma tulisi jäykisteseinän kautta.

Jäykistysseinän nostetarkastelu

$$G_{k.js} = 0.992 \frac{kN}{m} \quad \text{Omapainon ominaisarvo metrille}$$

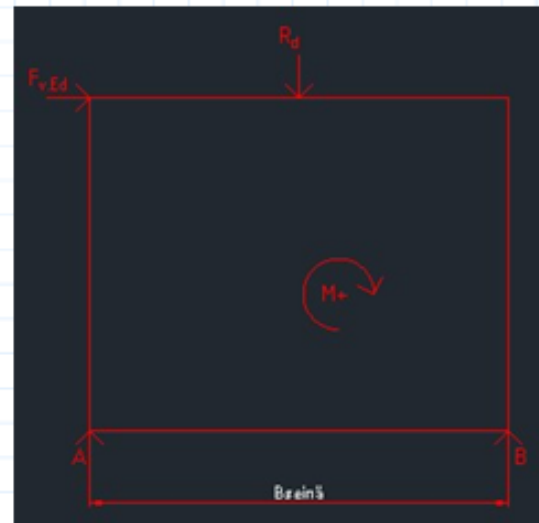
$$\rho_{osb} := 6.3 \cdot \frac{kN}{m^3} \quad \text{OSB-levyn tiheys}$$

$$g_{osb} := h_{seinä} \cdot b_{seinä} \cdot t \cdot \rho_{osb} = 0.422 \text{ kN}$$

Vanereiden omapaino

$$h_{runko.js} := 98 \cdot mm \quad \text{Runkopuun leveys}$$

$$b_{runko.js} := 48 \cdot mm \quad \text{Runkopuun paksuus}$$



$$g_{puurunko} := \frac{h_{runko.js} \cdot b_{runko.js} \cdot \rho_{puu}}{600 \cdot mm} \cdot b_{seinä} \cdot h_{seinä} = 0.239 \text{ kN} \quad \text{Seinärungon omapaino}$$

$$R_d := 0.9 \cdot G_{k.js} \cdot b_{seinä} + g_{puurunko} + 2 \cdot g_{osb} = 2.784 \text{ kN} \quad \text{Pystykuormien resultantti laskenta-arvo}$$

$$F_{v.Ed} = 3.384 \text{ kN} \quad \text{Vaakakuorman laskenta-arvo}$$

Valitaan kiertymän pisteeksi B (yllä olevasta kuvasta):

$$F_{v.Ed} \cdot h_{seinä} - R_d \cdot \frac{b_{seinä}}{2} + A \cdot b_{seinä} = 0 \quad \text{Ratkaistaan A} \quad A := \frac{-F_{v.Ed} \cdot h_{seinä} + R_d \cdot \frac{b_{seinä}}{2}}{b_{seinä}} = -4.296 \text{ kN}$$

Valitaan kiertymän pisteeksi A (yllä olevasta kuvasta):

$$F_{v.Ed} \cdot h_{seinä} + R_d \cdot \frac{b_{seinä}}{2} - B \cdot b_{seinä} = 0 \quad \text{Ratkaistaan B} \quad B := \frac{F_{v.Ed} \cdot h_{seinä} + R_d \cdot \frac{b_{seinä}}{2}}{b_{seinä}} = 7.079 \text{ kN}$$

$$A = -4.296 \text{ kN} \quad \text{Nostetta pisteessä A, koska negatiivinen (tukireaktio) (Kuva)}$$

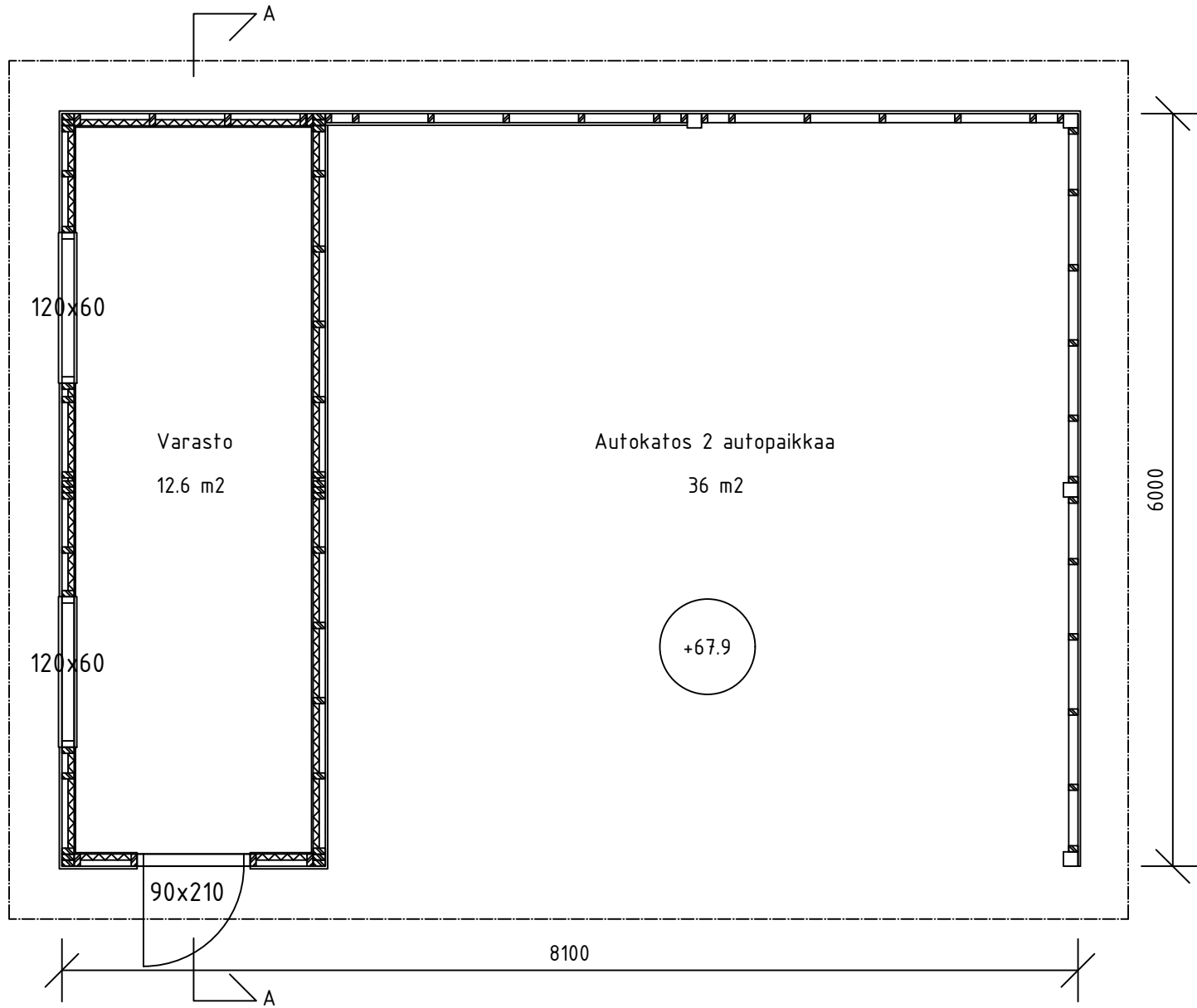
$$B = 7.079 \text{ kN} \quad \text{Puristusta pisteessä B, koska positiivinen (tukireaktio) (Kuva)}$$

Koska A tukireaktio negatiivinen, ei rakenne ole stabiili näillä kuormituksilla.

A tuen lähelle tarvitaan lisäkiinnikkeitä, joilla seinä ankkuroidaan lattiaan ja siitä perustuksiin. Kyseisessä katoksessa seinä ankkuroitu 6.0x120mm ruuvein lattiaan. Ja lattia perustuksiin ankkuroitu.

Liite 6. Mallikuvat tutkitusta autokatoksesta

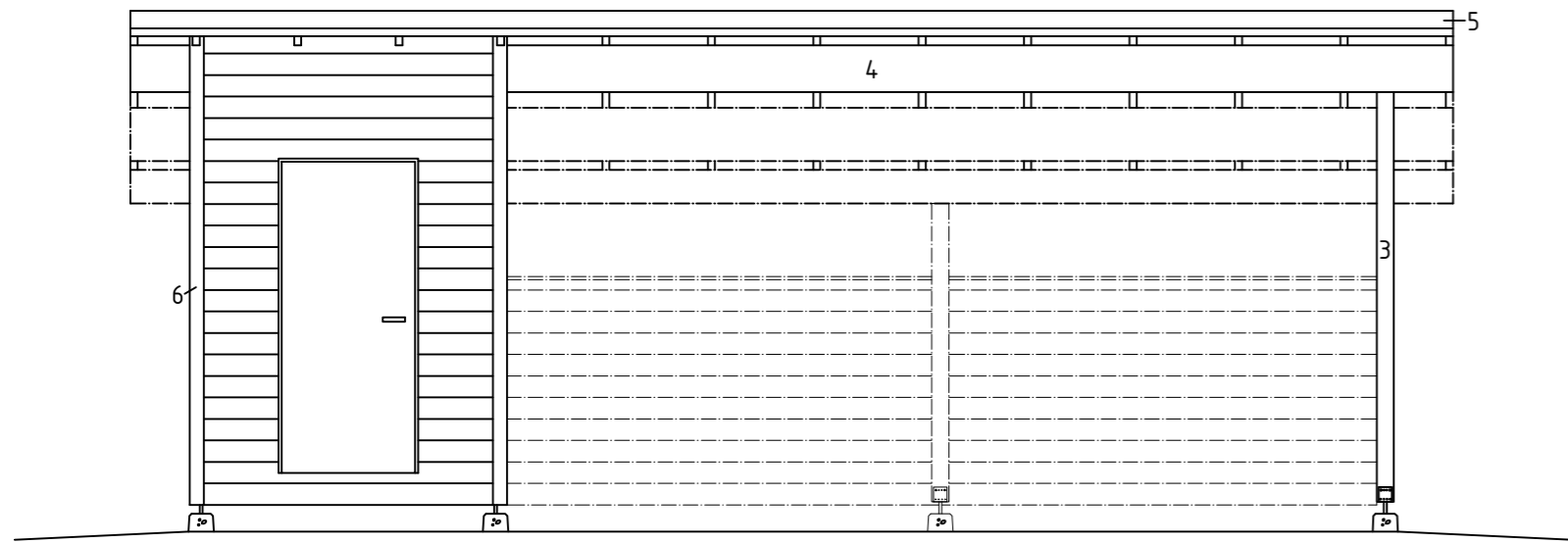
Pinta-ala:	
Varasto	12.6m ²
Autokatos	36m ²
Käyttötarkoitus	Autokatos 2ap ja varasto
Katoksen paloluokka	P3



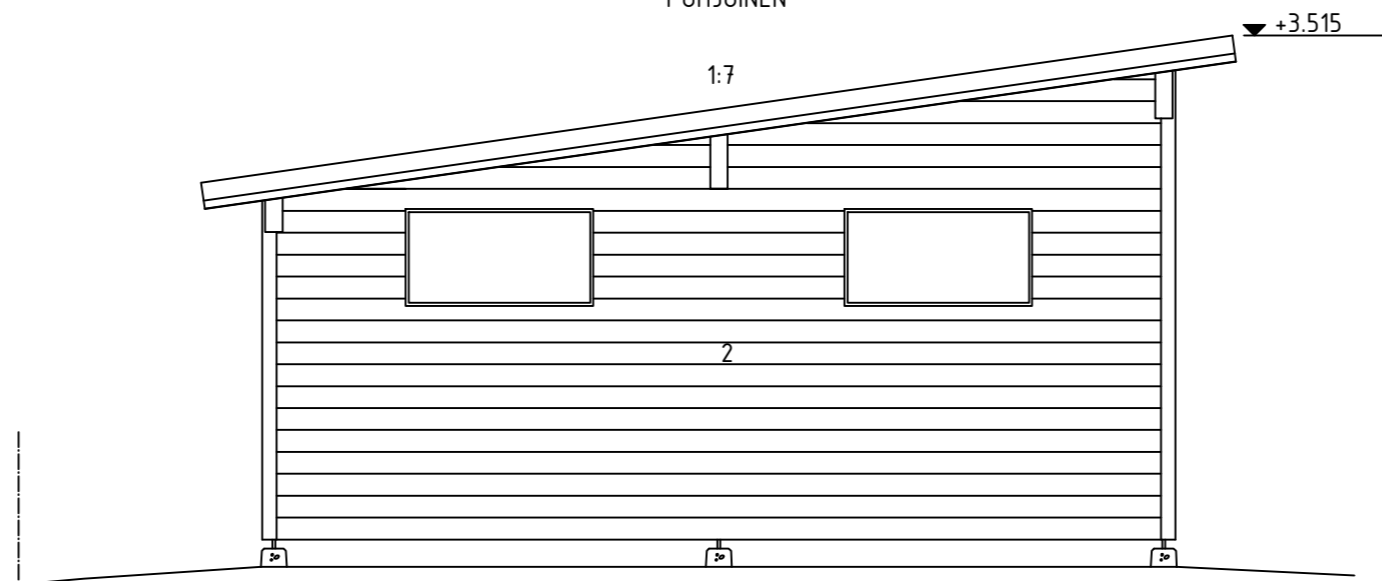
KORKEUSJÄRJESTELMÄ N2000

TUNN.	LUKUM.	MUUTOS	NIMIM. PVM	
Kaupunginosa/Kylä	Kortteli/Tila	Tonhti/Rno	Viranomaisten merkintöjä	
Rakennuksen numero/Rakennusten numerot/Rakennustunnus/Rakennustunnukset				
Rakennustoimenpide	Piirustuslaji	Juokseva no		
Uudisrakennus	Pääpiirustus			
Rakennuskohde	Piirustuksen sisältö	Mittakaava		
Autokatos+Varasto	Pohjapiirustus	1:50		
Suunnittelijan yhteystiedot: yritys, osoite ja puhelinnumero		Työnumero	Piirustuksen tunnus	Muutos
Piirtäjä Hannes Riikola		01		
Vastuullinen suunnittelija: nimi, tutkinto, allekirjoitus ja päiväys		Suunnittelualue	Tiedosto	
.2024		ARK		

LÄNSI

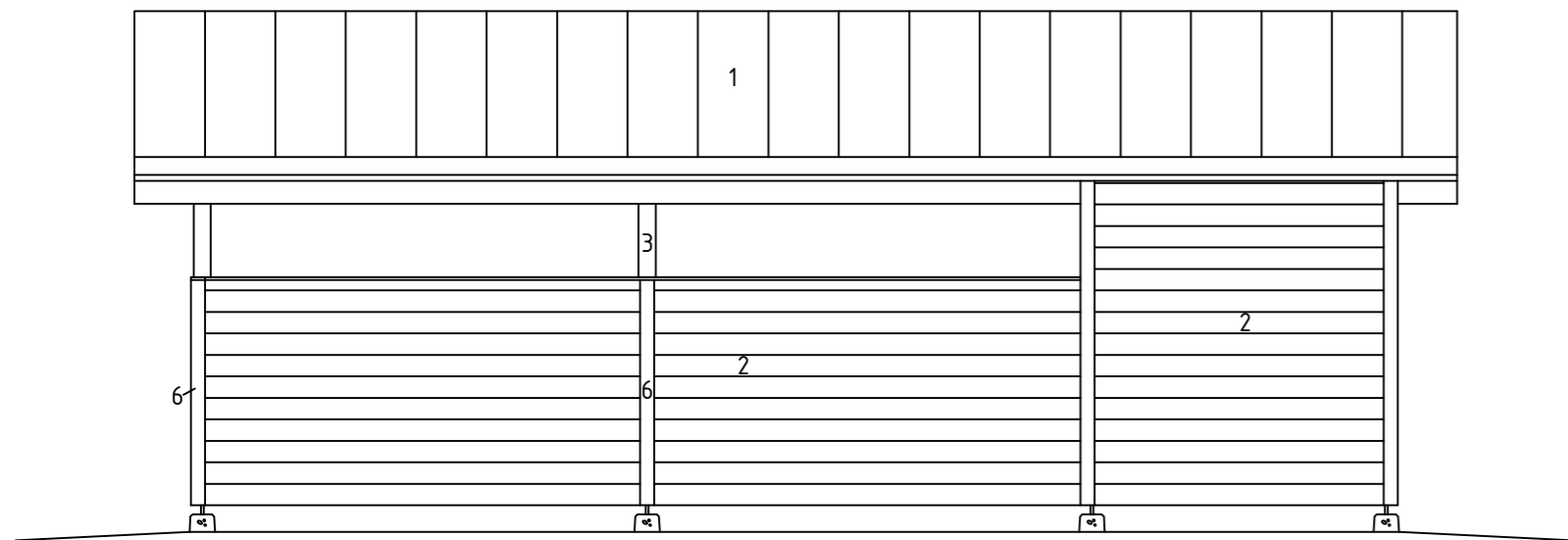


POHJOINEN

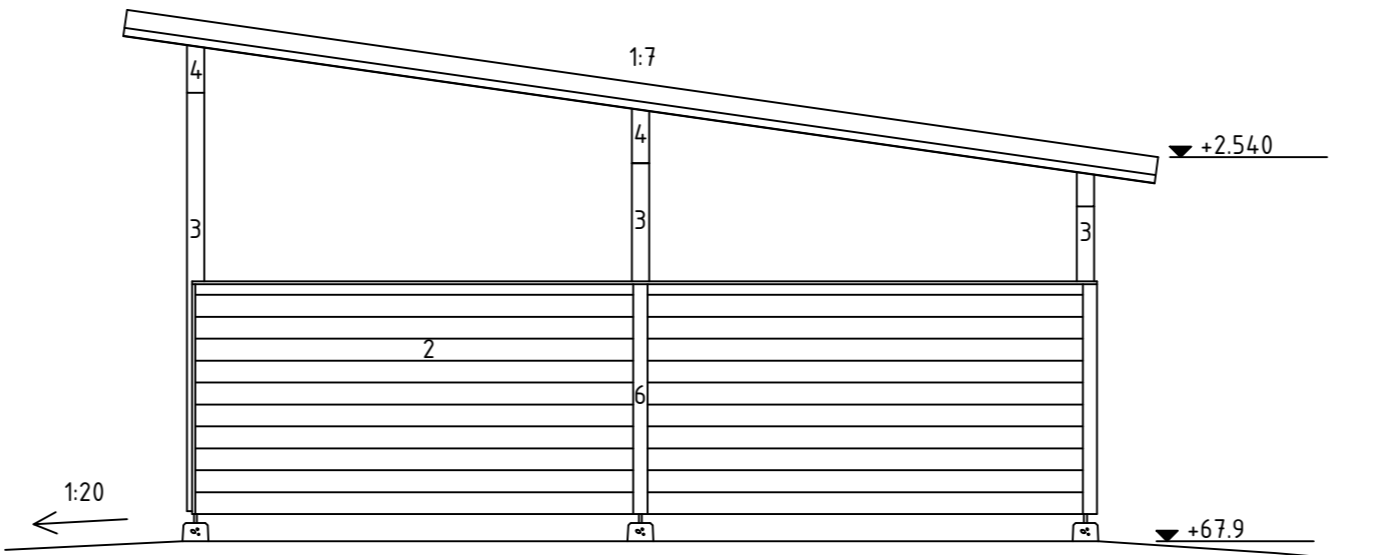


1. Lukkosauma peltikatto RR33 (Musta)
2. UTV145 ulkoverhouspaneeli (Teknos Visa T7055)
3. Liimapuupilarit GI24c 115x115
4. Liimapuupalkit GI30c
5. Otsalaudat (T7055) ja reunapellit (RR33)
6. Nurkkalaudat ja saumalaudat

ITÄ



ETELÄ



KORKEUSJÄRJESTELMÄ N2000

TUNN.	LUKUM.	MUUTOS	NIMIM. PVM	
Kaupunginosa/Kylä	Kortteli/Tila	Tontti/Rno	Viranomaisten merkintöjä	
Rakennuksen numero/Rakennusten numerot/Rakennustunnus/Rakennustunnukset				
Rakennustoimenpide	Pääpiirustaja		Juokseva no	
Uudisrakennus	Pääpiirustus			
Rakennuskohde	Piirustuksen sisältö		Mittakaava	
Autokatos+Varasto	Julkisivut		1:50	
Suunnittelijan yhteystiedot: yritys, osoite ja puhelinnumero		Työnumero	Piirustuksen tunnus	Muutos
Piirtäjä Hannes Riikola		01		
Vastuullinen suunnittelija: nimi, tutkinto, allekirjoitus ja päiväys		Suunnitteluala	Tiedosto	
2024		ARK		