

Katja Lohiniva

KULMATUKIMUURIN MITOITTAMINEN EUROKOODIN MUKAAN

KULMATUKIMUURIN MITOITTAMINEN EUROKOODIN MUKAAN

Katja Lohiniva
Opinnäytetyö
Kevät 2019
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma, rakennustekniikka

Tekijä: Katja Lohiniva
Opinnäytetyön nimi: Kulmatukimuurin mitoittaminen eurokoodin mukaan
Työn ohjaaja(t): Antti Ukonmaanaho ja Vesa Kallio
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2019
Sivumäärä: 50 + 3 liitettä

Tukimuuria käytetään tilanteissa, joissa maanpinnan korkeuseroja ei voida tasata luonnollisessa tilassa olevilla maaluisilla. Tukimuurirakenteen tulee kestää sille tulevat rasitukset yhtenä kappaleena. Nykyään yleisimmin käytössä oleva tukimuri on L:n tai käänteisen T:n muotoinen kulmatukimuri.

Opinnäytetyössä laadittiin kulmatukimuurin geoteknisen ja rakenteellisen kestävyuden mitoittava laskentasovellus. Rakenteen suunnittelu tehtiin eurokoodin ohjeiden mukaan. Aihe saatiin toimeksiantajana toimivalta yritykseltä Insinööri- ja arkkitehtitoimisto Oy Palola & Piispaselta.

Kulmatukimuurin mitoitus vaatii suunnittelijalta sekä pohjarakenteiden että teräsbetonirakenteiden suunnittelun tuntemusta. Kuormien määrittelyssä tulee huomioida täyttömaan painon, muuttuvan pintakuorman ja rakenteen oman painon lisäksi tukimuurin kannalta olennainen vaakasuoraan vaikuttava maanpaine kuorma.

Sovelluksen geoteknisessä osuudessa tarkasteltiin yllä mainittujen kuormien vaikutusta pohjalaatan katokestävyyteen sekä rakenteen liukumis- ja kaatumiskestävyyteen. Rakenteellisessa osuudessa murtorajatilassa selvitettiin mitoittavat taivutusmomentit ja leikkausvoimat sekä vaadittava raudoitus. Käyttörajatilassa tarkistettiin, että rakenteen halkeilu on sallituissa rajoissa.

Laskentasovellus tehtiin Microsoft Excel -ohjelmalla. Sovellusta hyödyntämällä voidaan minimoida moneen kertaan tehtävää työtä ja vaivattomasti tarkastella eri parametrien vaikutusta rakenteen kestävyteen.

Asiasanat: kulmatukimuri, eurokoodi, geotekninen mitoitus, rakenteellinen mitoitus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, Structural Engineering

Author(s): Katja Lohiniva

Title of thesis: Design of Cantilever Retaining Wall Using Eurocode

Supervisor(s): Antti Ukonmaanaho and Vesa Kallio

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2019

Pages: 50 + 3 appendices

Retaining walls are used in situations where soil must be kept on different levels where it would not stay in natural state. The structure must withstand all loads as one component. Commonly used retaining walls are L or inverted T shaped cantilever retaining walls.

In this thesis a software application was created for the definition of geotechnical and structural resistance of a cantilever retaining wall. The design of the structure was performed according to the Eurocode. The subject of the thesis was given by Engineering and Architectural Office Palola & Piispanen.

Dimensioning retaining walls requires knowledge of both geotechnical and structural design. When defining loads, the horizontal earth pressure must be considered in addition to the surface live load and to the weight of landfill and the structure itself. These loads' effects on bearing, sliding and toppling resistance were observed in the geotechnical part of the thesis. In the structural part bending moment, shear force and required reinforcement were determined in ultimate limit state. Crack resistance was determined in serviceability limit state.

The software application was programmed in Microsoft Excel. The use of application reduces the amount of work and provides an opportunity to easily examine the effects that different parameters have on the resistance of the structure.

Keywords: retaining wall, eurocode, geotechnical design, structural design

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
SANASTO	7
1 JOHDANTO	12
2 TUKIMUURI	13
3 RAJATILAMITOITUS	15
3.1 Eurokoodi	15
3.2 Käyttörajatila	15
3.3 Murtorajatila	16
3.4 Mitoitustavat	17
3.5 Osavarmuusluvut	18
3.5.1 EQU-rajatilan osavarmuusluvut	19
3.5.2 STR- ja GEO-rajatilan osavarmuusluvut	20
4 KUORMITUSYHDISTELMÄT	22
5 KUORMAT	23
5.1 Kuormien luokittelu	23
5.2 Maanpaine	23
5.2.1 Lepopaine	24
5.2.2 Aktiivinen ja passiivinen maanpaine	26
5.2.3 Tiivistys	28
6 GEOTEKNINEN MITOITUS	30
6.1 Kantokestävyys	30
6.2 Liukumiskestävyys	32
6.3 Kaatumiskestävyys	34
7 RAKENTEELLINEN MITOITUS	36
7.1 Taivutuskestävyys	36
7.1.1 Mitoittavat momentit	37
7.1.2 Raudoitus	38
7.2 Leikkauskestävyys	40
7.2.1 Mitoittavat leikkausvoimat	41

7.2.2 Leikkausraudoittamattoman rakenne	41
7.3 Halkeilun rajoittaminen	42
8 LASKENTASOVELLUS	45
9 YHTEENVETO	47
LÄHTEET	49
LIITTEET	
Liite 1 Kuormien yhdistelykertoimet	
Liite 2 Laskentaesimerkki	
Liite 3 Laskentasovelluksen tulosteet	

SANASTO

Geotekninen mitoitus

Latinalaiset kirjaimet

A'	tehokas pohjan ala
B'	tehokas pohjan leveys
b	pohjan kaltevuuskertoimien mitoitusarvot, alaindeksit c, q ja γ
c	koheesio
c'	tehokas koheesio
c_u	suljettu leikkauslujuus
$c_{u,d}$	suljetun leikkauslujuuden mitoitusarvo
G_{dst}	kaatavan pysyvän kuorman ominaisarvo
G_{stb}	vakauttavan pysyvän kuorman ominaisarvo
$G_{kj,inf}$	edullisen pysyvän kuorman ominaisarvo
$G_{kj,sup}$	epäedullisen pysyvän kuorman ominaisarvo
h	maanpaineen vaikutuskorkeus
h_k	tiivistyksen aiheuttaman maanpaineen leikkauskohta
H	vaakasuora kuorma tai kokonaiskuorman komponentti, joka vaikuttaa perustustason suunnassa
H_d	H :n mitoitusarvo
K_0	lepopainekerroin
K_{ac}	koheesio huomioiva kerroin aktiiviselle maanpaineelle
K_{ah}	vaakasuoraksi redusoitu aktiivipainekerroin
K_{aq}	pystysuuntaisen kuormituksen huomioiva kerroin aktiiviselle maanpaineelle
K_{an}	pinnalla vaikuttavan normaalivoiman huomioiva kerroin aktiiviselle maanpaineelle
K_{ay}	maan painon huomioiva kerroin aktiiviselle maanpaineelle
K_{FI}	seuraamus- ja luotettavuusluokasta riippuva kuormakerroin
P_0	lepopaine
P_a	aktiivinen maanpaine
p_{Ed}	pohjalaatan takaosan päällä vaikuttavan kuorman mitoitusarvo
$p_{Ed,red}$	tehollisen leveyden B' alueella vaikuttava pohjapaineen mitoitusarvo
P_t	tiivistyksen aiheuttama maanpaine

q	tasainen pintakuorma maanpinnalla
Q_k	epäedullisen muuttuvan kuorman ominaisarvo
R_d	kestävyyden mitoitusarvo
$R_{p,d}$	perustuksen sivuun kohdistuvasta maanpaineesta aiheutuvan vastustavan voiman mitoitusarvo
i	kuorman kaltevuuskertoimien mitoitusarvot, alaindeksit c, q ja γ
M_{Ed}	taivutusmomentin mitoitusarvo
m_t	maanpinnan ja maanpinnasta sekä seinästä poispäin osoittavan, liikkuvaa maamassaa rajaavan liukupinnan tangentin suunnan välinen kulma
m_w	seinän normaalin ja seinää leikkaavan liukupinnan tangentin välinen kulma
N	kantavuuskertoimet, alaindeksit c, q ja γ
s	perustuksen muodon kerroin, alaindeksit c, q ja γ
V	pystysuora kuorma tai se kokonaiskuorman komponentti, joka vaikuttaa kohtisuoraan perustuksen pohjaa vastaan
V_d	V :n mitoitusarvo
V'_d	tehokkaan pystysuoran kuorman tai kohtisuoraan perustuksen pohjaa vastaan vaikuttavan kokonaiskuorman komponentin mitoitusarvo
z	tiivistyksen vaikutuksen syvyys

Kreikkalaiset kirjaimet

β_0	ekvivalentin pintakuorman kohtaamiskulma
β	maan kaltevuuskulma tukimuurin takana (ylöspäin positiivinen)
γ	tilavuuspaino
γ'	tehokas tilavuuspaino
γ''	perustustason alapuolella olevan maan tehokkaan tilavuuspainon mitoitusarvo
γ_{ci}	tehokkaan koheesion osavarmuusluku
γ_{cu}	suljetun leikkauslujuuden osavarmuusluku
γ_E	kuorman vaikutuksen osavarmuusluku
γ_F	kuorman osavarmuusluku
$\gamma_{Gkj,inf}$	edullisen pysyvän kuorman osavarmuusluku
$\gamma_{Gkj,sup}$	epäedullisen pysyvän kuorman osavarmuusluku
$\gamma_{G,dst}$	pysyvän kaatavan kuorman osavarmuusluku
$\gamma_{G,stab}$	pysyvän vakauttavan kuorman osavarmuusluku

γ_Q	epäedullisen muuttuvan kuorman osavarmuusluku
γ_R	kestävyyden osavarmuusluku
$\gamma_{R,e}$	passiivisen maan kestävyyden osavarmuusluku
$\gamma_{R,h}$	liukumiskestävyyden osavarmuusluku
$\gamma_{R,v}$	kantokestävyyden osavarmuusluku
$\gamma_{Q,dst}$	muuttuvan kaatavan kuorman osavarmuusluku
$\gamma_{Q,stb}$	muuttuvan vakauttavan kuorman osavarmuusluku
γ_{qu}	yksiaksiaalisen puristuslujuuden osavarmuusluku
$\gamma_{\varphi'}$	leikkauskestävyysskulman ("kitkakulman") osavarmuusluku ($\tan \varphi'$)
γ_γ	tilavuuspainon osavarmuusluku
δ	rakenteen ja maan välinen kitkakulma (seinäkitkakulma)
δ_d	δ :n mitoitusarvo
θ	pystymuurin kaltevuus
v	tangenttikiertymä
φ'	leikkauskestävyysskulma (kitkakulma)
φ'_d	φ' :n mitoitusarvo
ψ	kerroin ominaisarvon muuntamiseksi edustavaksi arvoksi

Lyhenteet

OCR ylikonsolidoitumissuhde

Rakenteellinen mitoitus

Latinalaiset kirjaimet

$A_{c,eff}$	vetojännityksen alaisena olevan betoniteräksiä ympäröivän betoni-alueen tehollinen pinta-ala alueen korkeuden ollessa $h_{c,eff}$
A_s	vetoraidoituksen pinta-ala
A_{sl}	tarkasteltavan poikkileikkauksen momentin itseisarvon pienenemissuuntaan vähintään mitan ($l_{bd} + d$) verran ulottuvan vetoraidoituksen pinta-ala
$A_{s,min}$	poikkileikkauksen vähimmäisraudoitusala
$A_{s,vaad}$	poikkileikkauksen vaadittu raudoitusala
a	tehokkaan leveyden alueella vaikuttava uloke
b_t	vetopuolen keskimääräinen leveys
b_w	poikkileikkauksen pienin leveys vedetyllä korkeudella

c	vetoraidoituksen betonipeite
$C_{Rd,c}$	kansallinen suure
d	poikkileikkauksen tehollinen korkeus
E_{cm}	betonin kimmokerroin
E_s	betoniteräksen kimmokerroin
f_{ck}	betonin lieriölujuuden ominaisarvo
f_{cd}	betonin puristuslujuuden mitoitusarvo
f_{ck}	betonin lieriölujuuden ominaisarvo
$f_{ct,eff}$	betonin vetolujuuden keskiarvo halkeamien muodostumisen ajan-kohtana
f_{ctm}	betonin keskimääräinen vetolujuus
f_{yk}	teräksen ominaislujuus
f_{yd}	teräksen mitoituslujuus
k	poikkileikkauksen tehollisen korkeuden huomioiva suure
k_1	raudoitustankojen tartuntaominaisuudet huomioiva kerroin
k_2	venymäjakauman huomioiva kerroin
k_3	kansallinen kerroin
k_4	kansallinen kerroin
k_t	kuorman vaikutusajasta riippuva kerroin
$s_{r,max}$	suurin halkeamaväli
$V_{d,red}$	reduoidun pystykuorman mitoitusarvo
$V_{Rd,c}$	leikkauskestävyyden mitoitusarvo
w_k	laskennallinen halkeamaleveys
w_{max}	halkeilun raja-arvo
x	poikkileikkauksen neutraaliakselin korkeus
z	sisäinen momenttivarsi

Kreikkalaiset kirjaimet

α_e	betoniteräksen kimmokertoimen ja betonin kimmokertoimen suhde
α_{cc}	betonin puristuslujuuskerroin
β	puristusvyöhykkeen suhteellinen korkeus
β_{bd}	tasapainoraidoitusraja
γ_c	betonin materiaaliosavarmuusluku

γ_s	teräksen materiaaliosavarmuusluku
ε_{cm}	halkeamien välinen keskimääräinen betonin venymä
ε_{cu}	betonin murtopuristuma
ε_{sm}	kyseisen kuormitusyhdistelmän aiheuttama keskimääräinen raudoituksessa vaikuttava venymä
ε_{yd}	raudoituksen myötövenymä
λ	puristusvyöhykkeen määrittelyn parametri
μ	suhteellinen momentti
μ_{bd}	tasapainoraudoituksen mukainen suhteellinen momentti
ρ_l	poikkileikkauksen vetoraudoituksen huomioiva suure
$\rho_{p,eff}$	geometrinen raudoitussuhde
σ_s	halkeilleeksi oletetun poikkileikkauksen vetoraudoituksessa vaikuttava jännitys
ν_{min}	kansallinen suure
ω	mekaaninen raudoitussuhde

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on teräsbetonisen kulmatukimuurin mitoittaminen eurokoodin mukaan. Aiheeseen liittyvän teorian pohjalta laaditaan toimeksiantajalle, Insinööri- ja arkkitehtitoimisto Oy Palola & Piispaselle, Microsoft Excel -mitoituspohja. Työn tarkoituksena on yksinkertaistaa suunnittelutyössä vastaantulevien kulmatukimuurien mitoitusta ja vähentää moneen kertaan tehtävää työtä.

Työn kirjallisessa osuudessa pohjustetaan mitoitusohjelmassa käytettyjä eurokoodin mukaisia määräyksiä ja kuormitusyhdistelmiä. Excel-pohjan ulkoasun laatimisessa hyödynnetään aiempia yritykselle tehtyjä Excel-mitoituspohjia.

Perustamistavoista työ on rajattu käsittelemään maan- tai kallionvaraisen tukimuurin perustamista. Paaluperustuksellisia tukimuureja ei käsitellä.

Geoteknisen mitoituksen kannalta oleellisena oletuksena on, että pohjavedenpinta on perustamistason alapuolella eikä sen aiheuttamaa vedenpainetta siten huomioida mitoituksessa. Lisäksi oletetaan, että taustatäytön vedenohjaus on hoidettu siten, ettei siitä aiheutuvaa vedenpainetta tarvitse ottaa huomioon. Taustatäyttömateriaalin oletetaan olevan routimatonta, joten routapaine voidaan jättää mitoitusohjelmassa huomioimatta. Kokonaisvakavuus ja painumatarkastelu on rajattu työstä pois. Työ on rajattu koskemaan kitkamaita, joten geotekniset tarkastelut tehdään laskentapohjassa pelkästään avoimissa olosuhteissa.

Rakenteellisessa osuudessa määritetään tukimuurin rauditus, mutta raudituksen ankkurointia ei käsitellä. Leikkauskestävyys tarkastellaan pohjalaatalle ja pystymuurille kummallekin erikseen, mutta niiden rajapinnassa vaikuttavaa eri aikaan valettujen rakenteiden leikkauskestävyyttä ei työssä tarkasteta.

Toimeksiantajayritys Insinööri- ja arkkitehtitoimisto Oy Palola & Piispanen on oululainen, vuonna 2008 perustettu suunnittelutoimisto. Yritys toimii sekä uudis- että korjausrakennuspuolella ja työllistää tällä hetkellä 12 henkilöä.

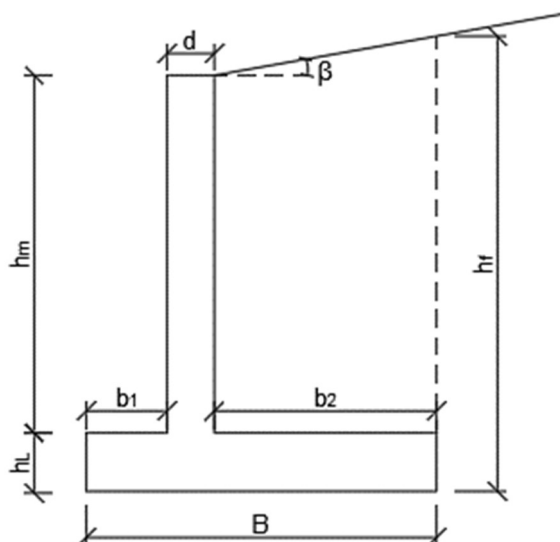
2 TUKIMUURI

Tukimuurit ovat tukirakenteita, joita käytetään tasaamaan maanpinnan korkeuseroja tilanteissa, joissa luonnollisessa tilassa olevia maaluiskia ei haluta tai pystytä käyttämään esimerkiksi tilanpuutteen vuoksi. Tukirakenteella tuettava materiaali voi koostua maasta, kalliosta tai täyttömateriaalista (SFS-EN 1997-1. 2014, 93). Tukirakenteet suunnitellaan ja rakennetaan kestäväksi niihin kohdistuvat ulkoiset kuormitukset, maanpaine ja vedenpaine. Rakenteiden siirtymien tulee olla niin vähäisiä, ettei rakenteille tai ympäristölle aiheudu niistä haittaa. (RIL 121–2004. 2004, 101.)

Riippumatta tukimuurin rakenteesta sen tulee kestää sille tulevat rasitukset yhtenä kappaleena. Tukimuureja on aiemmin tehty muun muassa muurattuina kiviladoksina tai massiivisina betonirakenteina. Nykyään yleisimmin käytössä oleva tukimuurirakenne on kulmatukimuuuri. (Jääskeläinen 2011, 200.) Tässä työssä keskitytään teräsbetonirakenteiseen kulmatukimuruuriin.

Kulmatukimuurit valmistetaan betonista tai teräsbetonista ja ne koostuvat pohjalaatasta sekä pystymuurista, jotka voivat olla paksuudeltaan vaihtelevia (RIL 207–2017. 2017, 155). Rakenteeltaan kulmatukimuuuri on yleensä L:n tai käännteisen T:n muotoinen (Bond - Harris 2008, 355).

Tukimuurin mitat arvioidaan mitoituksen alussa (kuva 1). Mittasuhteita muuttamalla voidaan vaikuttaa rakenteen kestävyyskykyyn. Pohjanlaatan leveys B on yleensä 50–70 % tukimuurin kuvitteellisen seinän korkeudesta h . Muurin leveys d ja pohjalaatan paksuus h_L ovat molemmat arviolta $h/10 \dots h/15$. Pohjalaatan kärjen b_1 leveys on yleensä $B/3 \dots B/4$. (Bond - Brooker - Harris - Harrison - Moss - Narayanan - Webster 2006, 70.) Muurin korkeus h_m määräytyy yleensä rakennuspaikan mukaan (Rantamäki - Tammirinne 2002, 223).



KUVA 1. Kulmatukimuurin mitat

Muurin leveys ja pohjalaatan paksuus voivat vaihdella rakenteen eri kohdissa, esimerkiksi muuri voi yläpäässä olla alapäästään kapeampi. Muurin leveyden vaihtelu huomioidaan laskentapohjassa, sillä usein varsinkin korkeissa tukimuurissa myös raudoitusta kevennetään muurin yläosassa. Muurin yläosan kaventaminen tehdään porrastetusti, sillä se on sekä suunnittelussa että työmaalla resursseja säästävämpi vaihtoehto verrattaessa tasaisen kaltevasti kapenevaan muuriin (ks. liite 3).

Tukimuurit voidaan perustaa maan, kallion tai paaluperustusten varaan. Paaluperustukset on rajattu tämän työn ulkopuolelle. Kalliolle perustettu tukimuuuri voidaan ankkuroida kallioon tai se voi olla vapaasti seisova. Tukimuriin kohdistuva maanpaine ei saa aiheuttaa rakenteen liukumista, kaatumista tai kallistumista. Perustustapa vaikuttaa tarkastettaviin rajatiloihin; esimerkiksi kaatuminen on mahdollista vain kalliolle tai erityisen kovalle maaperälle perustetulla tukimuurilla. (Jääskeläinen 2011, 200; Rantamäki – Tamminne 2002, 222–223.)

3 RAJATILAMITOITUS

Eurokoodien mukainen suunnittelu perustuu rajatiloissa tehtäviin mitoitusilanteisiin. Rajatilan ylitettyään rakenne ei enää täytä sille asetettua mitoituskriteeriä. Rajatilamitoituksessa käsitellään erikseen käyttörajatilat ja murtorajatilat. (SFS-EN 1990. 2006, 52.)

3.1 Eurokoodi

Eurokoodit ovat Euroopan unionin alueelle laadittuja yhtenäisiä kantavien rakenteiden suunnittelustandardeja. Niistä löytyvät ohjeet muun muassa varmuuslukujen, kuormien ja niiden yhdistelyjen määrittämiseen sekä erilaisten rakennusmateriaalien suunnitteluperusteet. Standardien tavoitteena on edistää rakenneteollisuuden kilpailukykyä Euroopan talousalueella ja myös muualla maailmassa. (Eurokoodit - Eurooppalaiset kantavien rakenteiden suunnittelustandardit. 2018; 3, 7, 28.)

Standardit koostuvat 58 osasta, jotka on jaoteltu kymmeneen pääosaan (Eurokoodit - Eurooppalaiset kantavien rakenteiden suunnittelustandardit. 2018, 7). Tämän opinnäytetyön kannalta oleellimmat standardit ovat Eurokoodi: Rakenteiden suunnitteluperusteet, Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat, Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu ja Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu.

Standardeja käytetään yhdessä kansallisten liitteiden kanssa. Kansallisissa liitteissä arvoja voidaan antaa esimerkiksi määritettäessä kansallisia varmuuslukuja tai luonnonkuormia. Suomessa kansalliset liitteet laatii talonrakennuksen osalta ympäristöministeriö ja infrarakentamisen osalta liikenne- ja viestintäministeriö. (Eurokoodit - Eurooppalaiset kantavien rakenteiden suunnittelustandardit. 2018, 10.)

3.2 Käyttörajatila

Normaalikäytössä rakenteen tai rakenneosien toimintaan, rakennuskohteen ulkonäköön tai käyttäjien mukavuuteen liittyvät rajatilat luokitellaan käyttörajatiloiksi. Ulkonäöllä tarkoitetaan tässä yhteydessä esteettisyyden sijaan liiallista

taipumaa tai halkeilua. Kun tämä rajatila ylittyy, rakenteen käyttökelpoisuusvaatimukset eivät enää täyty. (SFS-EN 1990. 2006, 54.)

Kulmatukimuurin geoteknisessä suunnittelussa käyttörajatilamitoitus tehdään muun muassa kokonaisstabiliteetille ja painumille (RIL 207–2017. 2017; 111, 183), mutta niistä kumpaakaan ei tämän opinnäytetyön laskentasovelluksessa huomioida. Laskentasovellukseen on kuitenkin sisällytetty rakenteellisessa mitoituksessa tehtävä käyttörajatilamitoitus betonin halkeilulle.

3.3 Murtorajatila

Murtorajatiloiksi luetaan rajatilat, jotka liittyvät rakenteen varmuuteen ja ihmisten turvallisuuteen. Tietyissä olosuhteissa murtorajatiloina voidaan tarkastella myös tavarantoiminnan suojaamiseen tai varastoitavaan aineeseen liittyvät rajatilat. Tarkastettavia murtorajatiloja niiden merkityksellisyyden mukaan ovat rakenteen tasapainon menetys, katkeaminen tai muuttuminen mekanismiksi, siirtymistä aiheuttavat vauriot ja väsyminen. (SFS-EN 1990. 2006, 52.) Yleisesti geoteknisessä mitoituksessa ei huomioida väsymismurtumista, mutta sen sijaan huomioon otetaan veden virtauksen ja nosteen aiheuttamat vaikutukset (SFS-EN 1997-1. 2014, 30).

Laskentasovelluksessa murtorajatilassa kulmatukimuurille tarkistetaan geoteknisessä suunnittelussa liukumis-, kanto- ja kaatumiskestävyys. Rakenteen kokonaisstabiliteettia ei murtorajatilassa tarkastella. Rakenteellisessa mitoituksessa tarkastetaan tukimuurirakenteen kestävyys taivutukselle ja leikkaukselle.

Staattinen tasapainorajatila (EQU)

EQU-rajatilassa (*equilibrium*) tarkastellaan jäykän kappaleen tai sen osan tasapainon menetyksiä. Yleensä tässä rajatilassa maaperän ja materiaalien lujuusarvot eivät ole määrääviä, kun taas pysyvien kuormien arvot ja kuormien jakautumisalueen vähäisetkin vaihtelut aiheuttavat suuria vaikutuksia. Kyseistä rajatilaa tarkasteltaessa tulee osoittaa, että tasapainoa heikentävien kuormien vaikutusten mitoitussarvo on pienempi kuin tasapainoa parantavien kuormien vaikutusten mitoitussarvo. (SFS-EN 1990. 2006; 76, 78.)

Rakenteellinen rajatila (STR)

STR (*strength*) tarkoittaa rakenteen sisäistä vaurioitumista tai liian suuria siirymiä. Määräävänä tekijänä ovat rakenteen materiaalien lujuusarvot. STR-rajatilassa mitoitettavia rakenneosia ovat muun muassa anturat, palkit, pilarit, laatat ja paalut. Mitoitusehtona on, että kestävyysmitoitussarvo on suurempi kuin vaikutuksen, kuten voimasuureen mitoitussarvo. (SFS-EN 1990. 2006; 76, 78.)

Geotekninen rajatila (GEO)

GEO-rajatilassa (*geotechnical*) tarkastellaan maan pettämistä tai liian suurta siirtymätilaa. Kestävyysmitoituksesta kannalta merkittävänä tekijänä on maakerroksen tai kallion lujuus. Mitoitusehto on sama kuin STR-rajatilassa eli kestävyysmitoitussarvon tulee olla suurempi kuin vaikutuksen mitoitussarvo. (SFS-EN 1990. 2006; 76, 78.)

Nosterajatila (UPL)

UPL-rajatilassa (*uplift*) tarkastellaan rakenteen tai maapohjan tasapainon menettämistä, joka aiheutuu vedenpaineen aiheuttamasta nosteesta tai muista pystykuormista. Mitoittavana ehtona on, että pystysuorien kaatavien voimien mitoitussarvo on pienempi kuin pystysuorien vakauttavien voimien mitoitussarvo. (SFS-EN 1990. 2006, 78.) Nosterajatila ei ole tässä työssä olennainen eikä sitä tarkemmin tarkastella.

Hydraulinen nousurajatila (HYD)

HYD (*hydraulic*) on rajatila, jossa tarkastellaan veden virtauksesta aiheutuvaa hydraulista murtumaa. Hydraulinen murtuma voi olla esimerkiksi maapohjan nousua, sisäistä eroosiota tai sisäistä putkieroosiota. (SFS-EN 1990. 2006, 78.) Hydraulinen nousurajatila ei ole tässä työssä olennainen eikä sitä tarkemmin tarkastella.

3.4 Mitoitustavat

Eurokoodissa esitetään kolme eri mitoitustapaa (DA=Design Approach). Suomen kansallisessa liitteessä määritetään, että Suomessa on näistä käytössä vain mitoitustavat 2 ja 3. Mitoitustapaa 2 käytetään tukirakenteiden, antura-, laatta- ja paaluperustusten sekä ankkureiden mitoituksessa. Mitoitustapaa 3

käytetään kokonaisvakavuuden, penkereiden vakavuuden ja luiskien vakavuuden tarkasteluissa. (RIL 207–2017. 2017, 54–55.) Kokonaisstabiliteettitarkastelut on rajattu tästä työstä pois, joten mitoitustavan 3 käsittelylle ei ole tarvetta. Myöskään mitoitustapaa 1 ei tässä työssä käsitellä.

Mitoitustavassa 2 alla oleva osavarmuuslukujen yhdistelmä (kaava 1) ei saa ylittää murtorajatilan jännityksiä eikä aiheuttaa käyttörajatilassa liiallisia muodonmuutoksia (RIL 207–2017. 2017, 55).

$A1 + M1 + R2$

KAAVA 1

$A1$ kuormien tai kuorman vaikutuksen osavarmuusluvut
 $M1$ maaparametrien osavarmuusluvut
 $R2$ tukirakenteiden kestävyysosavarmuusluvut

Tässä yhdistelmässä varmuus on kohdennettu kuormiin ja kestävyysosavarmuusluvut saavat kaikki arvon 1,0. (RIL 263–2014. 2014, 99.)

Mitoitustapa 2 sisältää kaksi eri menettelytapaa, joita merkitään DA2 ja DA2*. Näiden menettelytapojen ero on siinä, missä vaiheessa osavarmuuslukuja käytetään. DA2:ssa lähtöarvoihin käytetään osavarmuuslukuja. DA2*:-ssa osavarmuuslukuja käytetään vasta tuloksena saatuihin arvoihin ja itse laskenta tehdään ominaisarvoilla. (RIL 263–2014. 2014, 99–100.)

3.5 Osavarmuusluvut

Eurokoodi määrittelee rajatilamitoituksessa käytettävät osavarmuusluvut kuormille, maaparametreille ja kestävyyksille. Osavarmuusluvut esitetään kansallisessa liitteessä. Tässä osiossa käsitellään vain tälle työlle olennaisten murtorajatilojen osavarmuusluvut. Käyttörajatilassa osavarmuuskertoimille käytetään arvoa 1,0 (SFS-EN 1990. 2006, 84).

Osavarmuuslukutaulukoissa esiintyvä kuormakerroin K_{FI} on riippuvainen seuraamusluokkiin CC1, CC2 ja CC3 liitettävistä kolmesta luotettavuusluokasta

RC1, RC2 ja RC3 (taulukko 1). Luotettavuusluokka vaikuttaa suunnittelun valvontatasoon sekä toteutuksen aikaisiin tarkastuksiin. (SFS-EN 1990. 2006, 138–140.)

TAULUKKO 1. Kuormakertoimen K_{FI} riippuvuus luotettavuusluokasta

Seuraamusluokka	Luotettavuusluokka	K_{FI}
CC1	RC1	0,9
CC2	RC2	1,0
CC3	RC3	1,1

3.5.1 EQU-rajatilan osavarmuusluvut

Taulukossa 2 on määritetty staattisessa tasapainorajatilassa käytettävät osavarmuusluvut kuormille (RIL 207–2017. 2017, 49). Pysyville edullisille kuormille käytetään kuorman ominaisarvoa pienentävää kerrointa, kun taas edullisia muuttuvia kuormia ei oteta ollenkaan huomioon. Epäedullisten kuormien ominaisarvot kerrotaan luotettavuusluokasta riippuvaisilla, kuormia suurentavilla kertoimilla. Ensisijaisesti rakenteellisessa mitoituksessa kyseeseen tuleva EQU-rajatila tulee tarkastaa myös geoteknisessä mitoituksessa tilanteessa, jossa esimerkiksi kallion päällä on jäykkä perustus (RIL 207–2017. 2017, 49).

TAULUKKO 2. Kuormien osavarmuusluvut (γ_F) (EQU) (RIL 207–2017. 2017, 49)

Kuorma	Merkintä	Arvo
Pysyvä:		
Epäedullinen (kaatava)	$\gamma_{G,dst}$	1,1 K_{FI}
Edullinen (vakauttava)	$\gamma_{G,stb}$	0,9
Muuttuva:		
Epäedullinen (kaatava)	$\gamma_{Q,dst}$	1,5 K_{FI}
Edullinen (vakauttava)	$\gamma_{Q,stb}$	0

EQU-rajatilan maaparametreille käytettävät osavarmuusluvut on esitetty taulukossa 3 (RIL 207–2017. 2017, 50).

TAULUKKO 3. Maaparametrien osavarmuusluvut (γ_M) (EQU) (RIL 207–2017. 2017, 50)

Maaparametri	Merkintä	Arvo
Leikkauskestävyysskulma*	γ_ϕ	1,25
Tehokas koheesio	γ_c	1,25
Suljettu leikkauslujuus	γ_{cu}	1,5
Yksiaksiaalinen puristuslujuus	γ_{qu}	1,5
Tilavuuspaino	γ_γ	1,0

*Tällä varmuusluvulla jaetaan $\tan \varphi$

3.5.2 STR- ja GEO-rajatilan osavarmuusluvut

Rakenteellisissa ja geoteknisissä rajatiloissa osavarmuusluvut on määritelty kuormille tai niiden vaikutuksille, maaparametreille ja kestävyyksille. Taulukossa 4 on esitetty kuormien tai niiden vaikutusten osavarmuusluvut. (RIL 207–2017. 2017, 51–54.) Rakenteelle edulliset pysyvät kuormat kerrotaan pienentävällä kertoimella ja edullisia muuttuvia kuormia ei laskennassa huomioida. Epäedulliset pysyvät ja muuttuvat kuormat kerrotaan niiden arvoa korottavalla kertoimella. Mitoitustavan perusteella valitaan, kumpaa sarjoista A1 tai A2 käytetään (RIL 207–2017. 2017, 51). Tässä työssä käsiteltävässä mitoitustavassa 2 (DA2) käytetään kuormien osavarmuusluville sarjaa A1.

TAULUKKO 4. Kuormien (γ_F) osavarmuusluvut (STR/GEO) (RIL 207–2017. 2017, 51)

Kuorma	Merkintä	Sarja	
		A1	A2
Pysyvä:			
Epäedullinen			
Yhtälö 6.10a	$\gamma_{Gkj,sup}$	1,35 K_{FI}	1,0 K_{FI}
Yhtälö 6.10b		1,15 K_{FI}	
Yhtälö 6.10			
Edullinen			
Yhtälö 6.10a	$\gamma_{Gkj,inf}$	0,9	1,0
Yhtälö 6.10b		0,9	
Yhtälö 6.10			
Muuttuva:			
Epäedullinen			
Yhtälö 6.10b	γ_Q	1,5 K_{FI}	1,3 K_{FI}
Yhtälö 6.10			
Edullinen		0	

Maaparametrien osavarmuusluvut on esitetty taulukossa 5. Mitoitustavan perusteella valitaan, kumpaa sarjoista M1 tai M2 käytetään. (RIL 207–2017. 2017, 52.) Tässä työssä käsiteltävässä mitoitustavassa 2 (DA2) käytetään maaparametrien osalta sarjaa M1.

TAULUKKO 5. Maaparametrien osavarmuusluvut (γ_M) (STR/GEO) (RIL 207–2017. 2017, 53)

Maaparametri	Merkintä	Sarja	
		M1	M2
Leikkauskestävyysskulma*	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Tehokas koheesio	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Suljettu leikkauslujuus	γ_{cu}	1,0	1,5
Yksiaksiaalinen puristuslujuus	γ_{qu}	1,0	1,5
Tilavuuspaino	γ_{γ}	1,0	1,0

*Tällä varmuusluvulla jaetaan $\tan \varphi$

Taulukkoon 6 on kirjattu antura- ja laattaperustuksien kestävyydelle käytettävät osavarmuusluvut (RIL 207–2017. 2017, 54). Tässä työssä laskennassa käytetään mitoitustapaa 2 (DA2) eli käytetään sarjaa R2.

TAULUKKO 6. Antura- ja laattaperustusten kestävyuden osavarmuusluvut (γ_R) (STR/GEO) (RIL 207–2017. 2017, 54)

Kestävyys	Merkintä	Sarja R2
Kantokestävyys	$\gamma_{R,v}$	1,55
Liukuminen	$\gamma_{R,h}$	1,1

Taulukossa 7 on esitetty tukirakenteiden kestävyuden osavarmuusluvut (RIL 207–2017. 2017, 54). Tässä työssä laskennassa käytetään mitoitustapaa 2 (DA2) eli käytetään sarjaa R2.

TAULUKKO 7. Tukirakenteiden kestävyuden osavarmuusluvut (γ_R) (STR/GEO) (RIL 207–2017. 2017, 54)

Kestävyys	Merkintä	Sarja R2
Kantokestävyys	$\gamma_{R,v}$	1,55
Liukumiskestävyys	$\gamma_{R,h}$	1,1
Maan kestävyys (passiivipaine)	$\gamma_{R,e}$	1,5

4 KUORMITUSYHDISTELMÄT

Kuormitusyhdistelmät muodostetaan käsiteltävän rajatilan mukaan. Yhdistelmissä käytettävät yhdistelykertoimet ψ ovat kansallisen liitteen mukaiset ja ne on taulukoitu liitteeseen 1.

Käyttörajatila

Käyttörajatilan kuormitusyhdistelmät jaetaan ominaisyhdistelmiin, tavallisiin yhdistelmiin ja pitkäaikaisyhdistelmiin. Ominaisyhdistelmää sovelletaan palautumattomille rajatiloille ja tavallista yhdistelmää palautuville rajatiloille. Pitkäaikaisyhdistelmää käytetään pitkäaikaisvaikutuksille ja tarkasteltaessa vaikutuksia rakenteen ulkonäön kannalta. (SFS-EN 1990. 2006, 84.) Tässä työssä käyttörajatilatarkastelu tehdään vain rakenteen halkeilulle, joten kuormitusyhdistelmänä käytetään pitkäaikaisyhdistelmää. Pitkäaikaisyhdistelmä voidaan esittää kaavan 2 muodossa (SFS-EN 1990. 2006, 92).

$$G_{kj,sup} + G_{kj,inf} + \psi_{2,1} Q_{k1} + \psi_{2,i} Q_{ki} \quad \text{KAAVA 2}$$

Murtorajatila

Murtorajatilan kuormitusyhdistelmät muodostetaan luvussa 3.4 esitettyjen osavarmuuslukujen mukaan. Mitoitustavassa 2 STR- ja GEO-rajatiloissa määrääväksi kuormitusyhdistelmäksi muodostuu epäedullisempi yhtälöistä 6.10a (kaava 3) ja 6.10b (kaava 4) (RIL 207–2017. 2017, 51).

$$1,35K_{FI} * G_{kj,sup} + 0,9 * G_{kj,inf} \quad \text{KAAVA 3}$$

$$1,15K_{FI} * G_{kj,sup} + 0,9 * G_{kj,inf} + 1,5K_{FI} * Q_{k1} + 1,5K_{FI} * \sum_{i>1} \psi_i Q_{ki} \quad \text{KAAVA 4}$$

EQU-rajatilan kuormitusyhdistelmä (kaava 5) muodostetaan taulukon 2 osavarmuuslukujen mukaan (RIL 207–2017. 2017, 49).

$$1,1K_{FI} * G_{dst} + 0,9 * G_{stb} + 1,5K_{FI} * Q_{dst} + 1,5K_{FI} * \sum_{i>1} \psi_i Q_{dst,i} \quad \text{KAAVA 5}$$

5 KUORMAT

Kuormalla tarkoitetaan rakenteeseen vaikuttavien voimien yhdistelmää. Eurokoodin mukaan kuormat luokitellaan pysyviin kuormiin, muuttuviin kuormiin ja onnettomuuskuormiin niiden aikariippuvuuden perusteella. (SFS-EN 1990. 2006; 32, 58.) Tukimuurin kannalta oleellisena kuormana on täyttömaan ja pintakuorman aiheuttama vaakasuuntainen maanpainekuorma.

5.1 Kuormien luokittelu

Pysyvä kuorma (G) vaikuttaa rakenteeseen tai sen rakenneosiin tasaisesti koko tarkasteluajan eikä ajanjakson suuruuden vaihtelulla ole kuorman suuruuteen merkityksellistä vaikutusta. Merkittävin pysyvä kuorma on rakenteen oma paino, joka on niin kutsuttu välitön kuorma. Pysyvät kuormat voivat vaikuttaa rakenteeseen myös välillisesti. Tällaisia välillisiä kuormia aiheuttavat muun muassa epätasaiset painumat tai kutistuminen. (SFS-EN 1990. 2006; 32, 58.) Tukimuuria kuormittavia pysyviä kuormia ovat rakenteen oma paino ja täyttömaan paino.

Muuttuvien kuormien (Q) suuruus ja jakautuminen rakenteelle voivat vaihdella tarkastelujakson aikana. Muuttuvia kuormia ovat hyöty-, lumi- ja tuulikuormat. (SFS-EN 1990. 2006; 32, 58.) Hyötykuormille käytettävät minimiarvot on määritetty kansallisessa liitteessä. Tukimuuria kuormittavia muuttuvia kuormia ovat maan pinnalla vaikuttavat kuormat, kuten lumi- ja liikennekuormat.

Onnettomuuskuormat (A) ovat lyhytkestoisia ja merkittäviä kuormia, joiden kohdistuminen rakenteeseen suunnitellun käyttöiän aikana on kuitenkin hyvin epätodennäköistä. Onnettomuuskuormien seurausten oletetaan olevan vakavia. Tilanteesta riippuen onnettomuuskuormiksi voidaan lukea sysäys-, maanjäristys-, lumi- tai tuulikuormat. (SFS-EN 1990. 2006; 32, 58.) Onnettomuuskuormat on rajattu tämän opinnäytetyön laskentasovelluksesta pois.

5.2 Maanpaine

Yksi tukimuuria rasittavista kuormista on maanpaine. Maanpainetta laskiessa tulee huomioida tukimuurin tuentatapa, maanpinnan kaltevuus, pohjaolosuhteet,

pohjavedenpinnan taso ja virtaustila sekä tukimuurin rakenteellinen muoto, asento, jäykkyys ja mahdollinen liikkuminen. Mikäli tukimuuuri on siirtymätön, kutsutaan siihen kohdistuvaa maanpainetta lepopaineeksi. Siirtyvälle tukimuurille maanpaineena käytetään aktiivista tai passiivista maanpainetta. (RIL 263–2014. 2014, 79.)

5.2.1 Lepopaine

Siirtymättömälle, jäykälle rakenteelle maanpaineesta aiheutuva kuormitus lasketaan aina lepopaineena. Oletus on, että lepopaine vaikuttaa rakenteeseen vaakasuoraan. Lepopaine saadaan kertomalla maan tilavuuspaino lepopainekertoimella ja maanpaineen vaikutuskorkeudella (kaava 6). (RIL 263–2014. 2014, 80.)

$$P_0 = K_0 \gamma h \quad \text{KAAVA 6}$$

P_0	lepopaine
K_0	lepopainekerroin
γ	maan tilavuuspaino
h	maanpaineen vaikutuskorkeus

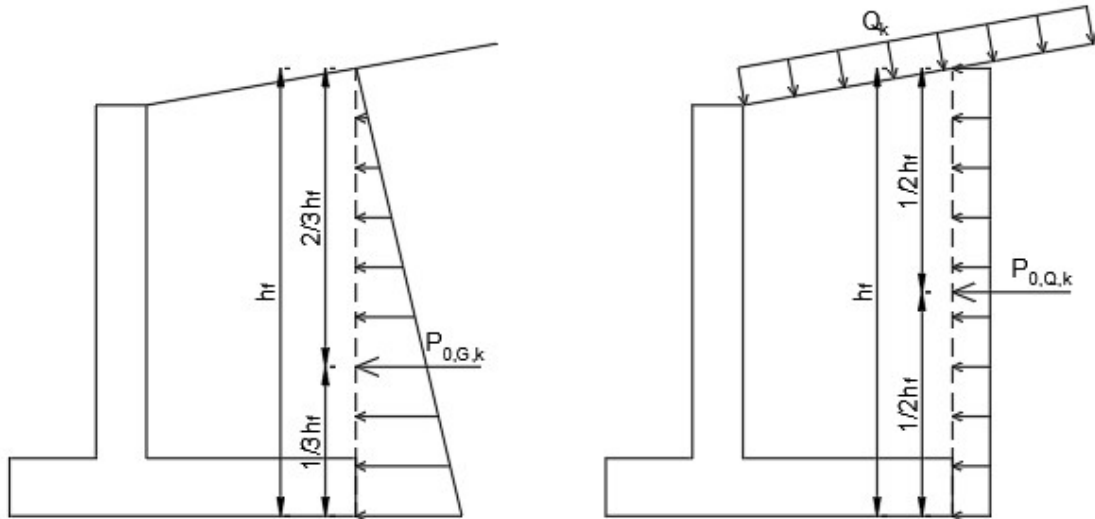
Täyttömaa aiheuttaa kolmion muotoisen painekuvion, jonka resultantti sijaitsee vaikutuskorkeuden kolmannespisteessä (kuva 2) (RIL 207–2017. 2017, 206). Geoteknisessä mitoituksessa vaikutuskorkeutena käytetään kuvitteellisen seinän korkeutta h_f (Jääskeläinen 2011, 201) ja rakenteellisessa mitoituksessa pystymuurin korkeutta h_m .

Mikäli maanpintaa kuormittaa tasainen kuorma q ja/tai tukimuurin takana oleva maanpinta on kaltevuudessa β , tulee ne ottaa huomioon lepopaineen laskennassa. Tämä on esitetty kaavassa 7. (RIL 263–2014. 2014, 80.)

$$P_0 = K_0 (1 + \sin \beta) (\gamma h + q) \quad \text{KAAVA 7}$$

β	täytön maanpinnan kaltevuuskulma
q	tasainen pintakuorma maanpinnalla

Tasaisesta pintakuormasta aiheutuva maanpainekuvio on suorakaiteen mallinen ja resultantti vaikuttaa sen keskipisteessä (kuva 2) (RIL 207–2017. 2017, 206). Geoteknisessä mitoituksessa vaikutuskorkeus on kuvitteellisen seinän korkeus h_f (Jääskeläinen 2011, 201) ja rakenteellisessa mitoituksessa pystymuurin korkeus h_m .



KUVA 2. Lepopaineresultanttien muodostuminen geoteknisessä mitoituksessa täyttömaasta ($P_{0,G,k}$) ja tasaisesta pintakuormasta ($P_{0,Q,k}$)

Lepopaineluku K_0 lasketaan maan leikkauskestävyysskulman avulla likimääräisesti kaavalla 8 (RIL 263–2014. 2014, 80).

$$K_0 = (1 - \sin \varphi') \sqrt{OCR}$$

KAAVA 8

φ' leikkauskestävyysskulma eli kitkakulma tehokkaiden jännitysten perusteella

OCR ylikonsolidoitumissuhde

Kaavaa 8 ei tule käyttää korkeilla OCR arvoilla (RIL 263–2014. 2014, 80). Kun maa on täysin konsolidoitunut omasta painostaan eikä siihen vaikuta kuormia, jotka aiheuttavat konsolidoitumista, maa on normaalisti konsolidoitunut ja silloin $OCR=1$ (RIL 157–1. 1985, 110).

5.2.2 Aktiivinen ja passiivinen maanpaine

Aktiivisen ja passiivisen maanpaineen vaikutussuuntaan vaikuttavat tukirakenteen muoto sekä tuettavan maan ja rakenteen välinen seinäkitka. Aktiivinen maanpaine suuntautuu yleensä vinosti alaspäin tukimuuria vasten ja passiivipaine taas vinosti ylöspäin. (RIL 121–2004. 2004, 105.) Aktiivinen maanpaine on aina lepopainetta pienempi (RIL 263–2014. 2014, 80).

Eurokoodi 7 liitteen C mukaan aktiivinen ja passiivinen maanpaine voidaan ratkaista nomogrammimenetelmällä tai analyyttisellä menetelmällä. (SFS-EN 1997–1. 2014; 136, 145). Vaihtoehtoisesti aktiivi- ja passiivipainekertoimet voidaan määrittää Coulombin tai Rankinen maanpaineteorioilla (RIL 263–2014. 2014, 81). Tässä työssä perehdytään eurokoodin mukaiseen analyyttiseen menetelmään (kuva 3), sillä sitä voidaan hyödyntää kaikissa tapauksissa. Aktiivinen maanpaine lasketaan kaavalla 9. (SFS-EN 1997–1. 2014; 136, 145.)

$$P_a = K_{ay}\gamma h + K_{aq}q - K_{ac}c \quad \text{KAAVA 9}$$

P_a	aktiivinen maanpaine
K_{ay}	maan painon huomioiva kerroin
K_{aq}	pystysuuntaisen kuormituksen huomioiva kerroin
K_{ac}	koheesion huomioiva kerroin
γ	maan tilavuuspaino
h	maanpaineen vaikutuskorkeus
q	tasainen pintakuorma maanpinnalla
c	maan koheesio

Aktiivisen maanpaineen laskennassa käytettävät kertoimet lasketaan kaavoilla 10, 11 ja 12 (SFS-EN 1997–1. 2014, 147).

$$K_{ay} = K_{an} \cos\beta \cos(\beta - \theta) \quad \text{KAAVA 10}$$

$$K_{aq} = K_{an} \cos^2\beta \quad \text{KAAVA 11}$$

$$K_{ac} = (K_{an} - 1) \cot\varphi \quad \text{KAAVA 12}$$

K_{an}	pinnalla vaikuttavan normaalivoiman huomioiva kerroin
β	täytön maanpinnan kaltevuuskulma
θ	on pystymuurin ja pystysuoran välinen kulma, saa positiivisen arvon seinän kallistuessa pois päin täytöstä
φ	leikkauskestävyysskulma, aktiivipaineelle negatiivinen arvo

Pinnalla vaikuttavan normaalivoiman huomioiva kerroin saadaan ratkaistua kaavasta 13 (SFS-EN 1997–1. 2014, 147).

$$K_{an} = \frac{1 + \sin \beta}{1 - \sin \beta} \frac{\sin(2m_w + \varphi)}{\sin(2m_t + \varphi)} e^{(2v \tan \varphi)} \quad \text{KAAVA 13}$$

m_t	maanpinnan ja maanpinnasta sekä seinästä pois päin osoittavan, liikkuvaa maamassaa rajaavan liukupinnan tangentin suunnan välinen kulma
m_w	seinän normaalin ja seinää leikkaavan liukupinnan tangentin välinen kulma
v	tangenttikiertymä

Kulmien m_t ja m_w arvot saadaan kaavoista 14 ja 15 (SFS-EN 1997–1. 2014, 146).

$$m_t = [\cos^{-1}(-\frac{\sin \beta_0}{\sin \varphi}) - \varphi - \beta_0] / 2 \quad \text{KAAVA 14}$$

β_0 aktiivipaineelle $\beta_0 = \beta$

$$m_w = [\cos^{-1}(\frac{\sin \delta}{\sin \varphi}) - \varphi - \delta] / 2 \quad \text{KAAVA 15}$$

δ pystymuurin leikkauskestävyysskulma eli seinäkitkakulma (taulukko 8), aktiivipaineelle negatiivinen arvo

TAULUKKO 8. Seinäkitkakulman arvoja riippuen tukiseinämateriaalista (RIL 263–2014. 2014, 83)

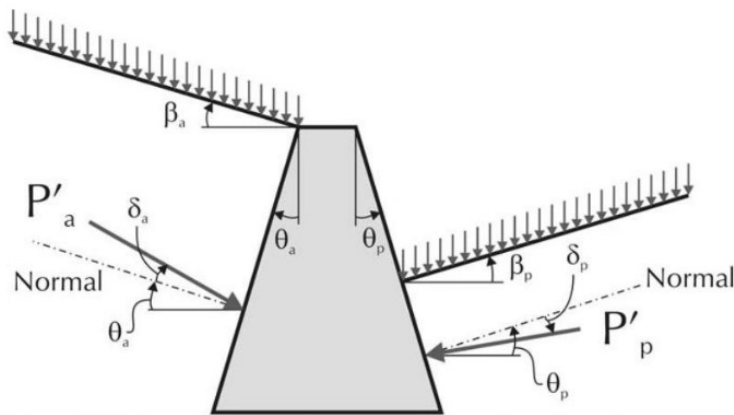
Tukiseinämateriaali	Seinäkitkakulma		
	δ_a	δ_p	$\delta_{pCoulomb}$
Betoni	$3/4\varphi$	$1/2\varphi$	$0,4\varphi$
Teräs	$2/3\varphi$	$1/2\varphi$	$0,4\varphi$

Tangenttikiertymä liikkuvan maamassan liukupintaa pitkin ratkaistaan kaavalla 16. Tangenttikiertymän arvo esitetään radiaaneina. (SFS-EN 1997–1. 2014, 147.)

$$v = m_t + \beta - m_w - \theta$$

KAAVA 16

Laskettaessa passiivipainetta analyyttisellä menetelmällä voidaan käyttää samoja kaavoja kuin aktiivipaineen laskennassa, mutta lujuusparametrit δ ja φ esitetään positiivisina arvoina (SFS-EN 1997–1. 2014, 145).



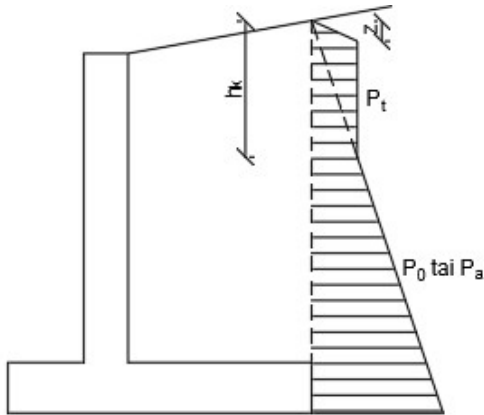
KUVA 3. Aktiivisen ja passiivisen maanpaineen määrittäminen analyyttisellä menetelmällä (Bond - Harris 2008, 411)

5.2.3 Tiivistys

Maanpaineiden määrittämisessä tulee huomioida täyttömaan tiivistysmenetelmä sekä maan kerroksittaisesta lisäämisestä aiheutuva lisäpaine (SFS-EN 1997–1. 2014, 99). Täyttömaan tiivistyksestä syntyvän maanpaineen vaikutussuunta on aina vaakasuora. Maanpaineen suuruuteen vaikuttavat maan tilavuuspaino, tiivistimen paino sekä keskipakoisvoima, joka syntyy tärytiivistimen epäkeskon pyörimisestä. (RIL 263–2014. 2014, 92.)

Tavallisesti valmiiksi täytetyssä rakenteessa lisäpaine vaikuttaa vain pystymuurin yläosassa (SFS-EN 1997–1. 2014, 99). Täyttömaan painosta aiheutuvan maanpaineen ja tiivistyksestä aiheutuvan maanpaineen leikkauskohdan alapuolella maanpaineena käytetään joko lepopainetta tai aktiivipainetta riippuen siitä,

onko rakenteelle sallittu siirtymiä (RIL 263–2014. 2014, 92). Tiivistyksen aiheuttamaa maanpainetta on havainnollistettu kuvassa 4.



KUVA 4. Tiivistyksen aiheuttama maanpaine (P_t) (RIL 263–2014. 2014, 93)

Tiivistyksen aiheuttaman maanpaineen laskemiseksi tiedossa pitää olla tiivistimen aiheuttaman viivakuorman q suuruus. Maan tilavuuspainon vaikutusta tiivistysmaapaineen osalta voidaan pitää vakiona ($\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$). Tiivistyksen aiheuttama maanpaine lasketaan kaavalla 17. Taulukossa 9 on esitetty erikoisille tiivistimille laskettuja maanpaineita. (RIL 263–2014. 2014, 93–94.)

$$P_t = \sqrt{2q\gamma/\pi}$$

KAAVA 17

TAULUKKO 9. Tärytiivestimillä suoritettun kerroksellisen tiivistyksen aiheuttama maanpaine (RIL 263–2014. 2014, 94)

Tiivistyskone [kN]	1	4	30	60	80	100	120
Kerroksellisen tiivistyksen aiheuttama maanpaine P_t [kN/m ²]	12	16	19	28	32	38	44

Tiivistyksen vaikutuksen syvyys z lasketaan kaavalla 18 ja tiivistyksen aiheuttaman maanpaineen leikkauskohta h_k saadaan kaavasta 19. Kertoimena K käytetään lepopaineelle lepopainekerrointa K_0 ja aktiivipaineelle vaakasuoraksi redusoitua aktiivipainekerrointa K_{ah} . (RIL 263–2014. 2014, 93.)

$$z = K\sqrt{2q/(\gamma\pi)}$$

KAAVA 18

$$h_k = \frac{\sqrt{2q/(\gamma\pi)}}{K}$$

KAAVA 19

6 GEOTEKNINEN MITOITUS

Geoteknisessä mitoituksessa maanpaine kohdistuu pohjalaatan takareunan kohdalle kuviteltuun pystyseinään (Jääskeläinen 2011, 201). Maanpaineena käytetään joko lepopainetta tai aktiivipainetta riippuen siitä, sallitaanko rakenteelle siirtymiä. Tämän työn geoteknisessä osuudessa tarkistetaan tukimuurin liukumis- ja kaatumiskestävyys sekä pohjalaatan kantokestävyys. Varmuus eri murtumistapoja, kuten pohjan murtumista ja liukumista vastaan, voidaan saavuttaa vaihtelemalla tukimuurin pohjalaatan mittoja (Rantamäki - Tamminen 2002, 224).

6.1 Kantokestävyys

Kantokestävyys voidaan eurokoodin mukaan laskea kolmella eri menetelmällä; analyyttisellä menetelmällä, puolikokeellisella menetelmällä tai ohjeellisella menetelmällä, joka perustuu oletettuun kantokestävyyteen. Suomessa suositellaan käyttämään analyyttistä menetelmää, joten tässä opinnäytetyössä käsitellään tarkemmin vain tätä menettelytapaa. (RIL 207–2017. 2017, 105–108.)

Kaikissa kantokestävyyden määritystavoissa tulee alla olevan epäyhtälön (kaava 20) täyttyä (RIL 207–2017. 2017, 104).

$$V_d \leq R_d \quad \text{KAAVA 20}$$

V_d pystysuoran kuorman tai kohtisuoraan rakenteen pohjaa vastaan kohdistuvan kokonaiskuorman komponentin mitoitusarvo

R_d kantokestävyyden mitoitusarvo

Kuorman V_d tulee sisältää rakenteen omapaino, täyttömateriaalin paino, edulliset ja epäedulliset maanpaineet sekä vedenpaineet. (RIL 207–2017. 2017, 104.)

Kantokestävyyden mitoitusarvon määrittämistapa vaihtelee sen mukaan, ovatko maaolosuhteet suljetut vai avoimet. Avoimen tilan olosuhteissa kantokestävyyden ominaisarvo R_k määritetään kaavasta 21 (RIL 207–2017. 2017, 106).

$$R_k/A' = c'N_c b_c s_c i_c + q'N_q b_q s_q i_q + 0,5\gamma' B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

KAAVA 21

- A' perustuksen tehokas mitoituspinta-ala
 $A' = B' * L'$
- c' tehokas koheesio
- q' yläpuolisten maakerrosten aiheuttama tehokas mitoituspaine rakenteen pohjan tasolla
- γ' perustustason alapuolella olevan maan tehokkaan tilavuuspainon mitoitusarvo
- N kerroin kantokestävyydelle
 $N_q = e^{\pi \tan \varphi'} \tan^2(45^\circ + \varphi'/2)$
 $N_c = (N_q - 1) \cot \varphi'$
 $N_\gamma = 2(N_q - 1) \tan \varphi'$, missä $\delta \geq \varphi'/2$
- b kerroin perustuksen pohjan kaltevuudelle, alaindeksit q , c ja γ
 $b_q = b_\gamma = (1 - \alpha \cdot \tan \varphi')^2$
 $b_c = b_q - (1 - b_q)/(N_c * \tan \varphi')$
- s kerroin perustuksen muodolle, alaindeksit q , c ja γ
 $s_q = 1 + (B'/L') \sin \varphi'$ suorakaiteelle
 $s_q = 1 + \sin \varphi'$ neliölle tai ympyrälle
 $s_\gamma = 1 - 0,3(B'/L')$ suorakaiteelle
 $s_\gamma = 0,7$ neliölle tai ympyrälle
 $s_c = (s_q \cdot N_q - 1)/(N_q - 1)$ suorakaiteelle, neliölle tai ympyrälle
- i kerroin vaakakuorman H aiheuttamalle kuorman kaltevuudelle, alaindeksit q , c ja γ
 $i_q = [1 - H/(V + A'c' \cot \varphi')]^m$
 $i_\gamma = [1 - H/(V + A'c' \cot \varphi')]^{m+1}$
 $i_c = i_q - (1 - i_q)/(N_c \tan \varphi')$
 missä
 kun H vaikuttaa B' :n suunnassa
 $m = m_B = [2 + (B'/L')]/[1 + (B'/L')]$
 kun H vaikuttaa L' :n suunnassa
 $m = m_L = [2 + (L'/B')]/[1 + (L'/B')]$

kun H vaikuttaa suunnassa, joka muodostaa L' :n kanssa kulman θ

$$m = m_\theta = m_L \cos^2 \theta + m_B \sin^2 \theta$$

Kertoimet ovat yksiköttömiä niin avoimen kuin suljetunkin tilan menetelmässä (RIL 207–2017. 2017, 105). Kantokestävyyden mitoitusarvo R_d saadaan jakamalla ominaisarvo R_k kantokestävyyden osavarmuusluvulla (RIL 207–2017. 2017, 202).

Suljetuissa olosuhteissa kantokestävyyden ominaisarvo R_k saadaan kaavasta 22 (RIL 207–2017. 2017, 105). Suljetun tilan olosuhteita ei huomioida laskentapohjassa.

$$R_k/A' = (\pi + 2)c_u b_c s_c i_c + q \quad \text{KAAVA 22}$$

A' perustuksen tehokas mitoituspinta-ala

$$A' = B' \cdot L'$$

c_u suljettu leikkauslujuus

q pysyvien yläpuolisten maakerrosten tai lisäkuormien paine rakenteen pohjan tasolla

b_c kerroin perustuksen pohjan kaltevuudelle

$$b_c = 1 - 2\alpha/(\pi + 2)$$

s_c kerroin perustuksen muodolle

$$s_c = 1 + 0,2(B'/L') \quad \text{suorakaiteelle}$$

$$s_c = 1,2 \quad \text{neliölle tai ympyrälle}$$

i_c kerroin vaakakuorman H aiheuttamalle kuorman kaltevuudelle

$$i_c = 1/2(1 + \sqrt{1 - H/(A'c_u)}), \text{ jolloin } H \leq A'c_u$$

6.2 Liukumiskestävyys

Liukumiskestävyys on tarkistettava tapauksissa, joissa rakenteen pohjaan tuleva kuormitus ei ole kohtisuorassa sitä vastaan ja voi siten aiheuttaa pohjaa pitkin tapahtuvaa liukumurtumaa (RIL 207–2017. 2017, 108). Tukimuurin tapauksessa tällainen voima on tuettavan maa-aineksen suunnalta tuleva vaaka-

suuntaan vaikuttava maanpaine. Sen aiheuttama kuorma ei saa ylittää tukimuurin pohjalaatan päällä olevan täyttömaan oman painon aiheuttamaa liukumista vastustavaa kitkaa. (Rantamäki - Tamminne 2002, 224.)

Liukumiskestävyystarkastelussa alla olevan epäyhtälön (kaava 23) tulee toteutua (RIL 207–2017. 2017, 108).

$$H_d \leq R_d + R_{p,d} \quad \text{KAAVA 23}$$

H_d perustustason suunnassa vaikuttavan vaakasuoran kuorman tai kokonaiskuorman komponentin mitoitusarvo

R_d liukumiskestävyuden mitoitusarvo

$R_{p,d}$ rakenteen sivuun kohdistuvasta maanpaineesta aiheutuvan vastustavan voima mitoitusarvo

Suomessa $R_{p,d}$ jätetään usein huomioimatta, sillä myöhemmässä vaiheessa sen tuoma edullinen vaikutus voi kadota eroosion tai ihmisen toiminnan, kuten kaivutöiden, seurauksena (RIL 207–2017. 2017, 108).

Liukumiskestävyuden mitoitusarvo R_d määritetään eri tavoin riippuen siitä, onko kyseessä avoin vai suljettu olosuhde. Avoimen tilan olosuhteissa liukumiskestävyuden mitoitusarvo lasketaan kohdistamalla osavarmuusluvut maapohjan kestävyuteen. Tämä on esitetty kaavassa 24. (RIL 207–2017. 2017, 109.)

$$R_d = V'_d \tan \delta_k / \gamma_{R,h} \quad \text{KAAVA 24}$$

V'_d kohtisuoraan perustuksen pohjaa vastaan vaikuttavan kuorman mitoitusarvo

δ_k maan ja perustuksen välisen kitkakulman ominaisarvo

$\gamma_{R,h}$ liukumiskestävyuden osavarmuusluku

Kuorman mitoitusarvoa V'_d määritettäessä tulee huomioida H_d :n ja V'_d :n mahdollinen riippuvuus toisistaan. Ominaiskitkakulman arvo riippuu siitä, onko pohjalaatta paikallavalettu vai elementtirakenteinen. Paikallavaletuille perustuksille

kitkakulma voidaan olettaa samansuuruiseksi kuin tehokkaan leikkauskestävyyskulman kriittisen tilan mitoitusarvo $\varphi'_{cv;d}$. Sileillä elementtiperustuksilla kitkakulma on $2/3 \varphi'_{cv;d}$. (RIL 207–2017. 2017, 109.)

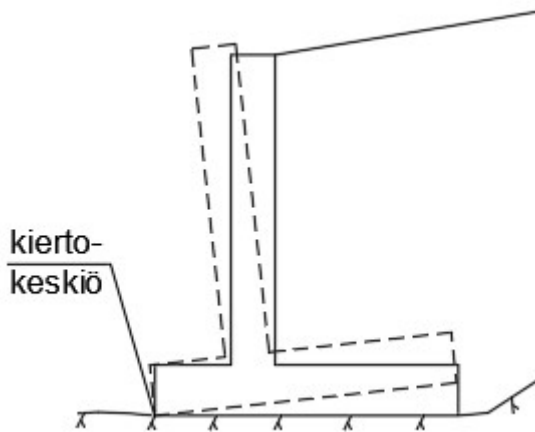
Suljetun tilan olosuhteissa käytetään liukumiskestävyden ratkaisuun kaavaa 25 (RIL 207–2017. 2017, 109). Suljetun tilan olosuhteita ei tarkastella laskentapohjassa.

$$R_d = (A' c_{u,k}) / \gamma_{R,h} \quad \text{KAAVA 25}$$

- A' tehokas pohjan ala
- $c_{u,k}$ suljettu leikkauslujuus
- $\gamma_{R,h}$ liukumiskestävyden osavarmuusluku

6.3 Kaatumiskestävyys

Tukimuurin kaatumiskestävyden tarkastelu on tarpeellista vain tilanteissa, joissa tukimuri on perustettu kalliolle. Tällöin kaatumisen kiertokeskiö sijaitsee tukimuurin pohjalaatan etureunassa (kuva 5). (RIL 207–2017. 2017, 49.)



KUVA 5. Kalliolle perustettu tukimuri (RIL 207–2017. 2017, 49)

Jotta rakenteella on riittävä kestävyys kaatumista vastaan, tulee alla olevan epäyhtälön (kaava 26) toteutua (Bond - Harris 2008, 371).

$$M_{Ed,dst} \leq M_{Ed,stb} \quad \text{KAAVA 26}$$

$M_{Ed,dst}$ kaatavien momenttien mitoitusarvo

$M_{Ed,stb}$ vakauttavien momenttien mitoitusarvo

Rakennetta kaatavat momentit aiheutuvat vaakasuoraan tukimuurin takana vaikuttavasta maanpaineesta sekä hyötykuormien aiheuttamasta lisävaakavoimasta. Myös vedenpaineesta ja nosteesta syntyvät voimat aiheuttavat kaatavia momentteja. (Bond - Harris 2008, 371.) Vedenpaineen ja nosteen vaikutusta ei huomioida tässä työssä.

Vakauttavat momentit koostuvat pohjalaatan ja muurin omasta painosta sekä rakenteen päällä olevasta maataytöstä. Hyötykuormaa ei oteta mukaan tukevia momentteja laskiessa, sillä sen vaikutuksen ei oleteta olevan jatkuvaa. (Bond - Harris 2008, 371.)

7 RAKENTEELLINEN MITOITUS

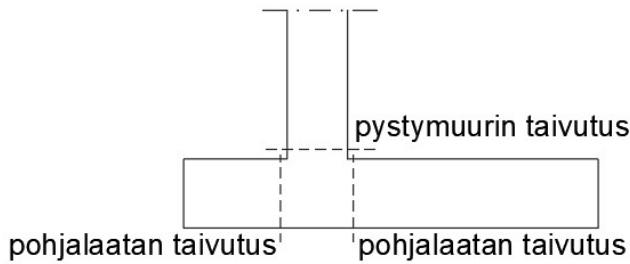
Kulmatukimuurin rakenteellisessa mitoituksessa sekä pohjalaatta että pystymuuri mitoitetaan betonirakenteista laattaa koskevien mitoitussääntöjen mukaan eli tukimuurin rakennetta tarkastellaan kahtena eri laattana. Pystymuuri toimii käytännössä maanpaineseinänä, mutta koska siihen kohdistuvat maanpaineesta aiheutuvat vaakavoimat ovat hallitsevampia kuin pystyvoimat, muuria ei voida mitoituksen kannalta tarkastella seinärakenteena. Eurokoodin mukaan seinissä, joihin aiheutuu taivutusrasitusta kohtisuoraan tasoa vastaan, noudatetaan laattojen mitoitussääntöjä (SFS-EN 1992-1-1:2015, 161).

Rakenteellisessa mitoituksessa rakennetta rasittavien voimien oletetaan vaikuttavan suoraan itse rakenteeseen eikä kuviteltuun seinään, kuten geoteknisessä suunnittelussa. Rakenteellisessa mitoituksessa maanpaineena käytetään aina lepopainetta (Eurokoodin soveltamisohje - Geotekninen suunnittelu - NCCI 7:2017; 39).

Tässä työssä rakenteellisessa osuudessa tarkastellaan murtorajatilassa kulmatukimuurin taivutus- ja leikkauskestävyyttä sekä vaadittavaa rauditusmäärää. Laatoille ominaisesti rakenne käsitellään leikkausraudoittamattomana rakenteena (Nykyri 2015b, 58). Lisäksi käyttörajatilassa tarkistetaan, ettei rakenteen halkeilu ylitä sallittuja rajoja.

7.1 Taivutuskestävyys

Taivutuskestävyyden mitoitusta tehdään kuormituksesta aiheutuvien maksimimomenttien perusteella (Nykyri 2015b, 48). Tukimuurin kannalta määräävät taivutusmomenttien kohdat on esitetty kuvassa 6.



KUVA 6. Kulmatukimuurin kriittiset kohdat taivutuksen osalta (Savolainen 2015, 37)

7.1.1 Mitoittavat momentit

Tukimuurin pystyseinämälle kuormitusta syntyy täytön ja pinnalla vaikuttavan hyötykuorman aiheuttamasta lepopaineesta. Ulokkeena toimivan pystymuurin suurin momentti on tuella eli pystymuurin ja pohjalaatan liitoskohdassa. Mitoitettava momentti pystymuurille saadaan kaavasta 27.

$$M_{Ed,muuri} = M(P_{0,G,d}) + M(P_{0,Q,d}) \quad \text{KAAVA 27}$$

$M(P_{0,G,d})$ on täyttömaasta aiheutuvan lepopaineen resultantin aiheuttama momentti pystymuurin juuressa

$$M(P_{0,G,d}) = P_{0,G,d} * h_1/3$$

$M(P_{0,Q,d})$ on muuttuvasta pintakuormasta aiheutuvan lepopaineen resultantin aiheuttama momentti pystymuurin juuressa

$$M(P_{0,Q,d}) = P_{0,Q,d} * h_1/2$$

Pohjalaatalle taivutusmomenttia aiheutuu pystymuurin juureen laatan alapintaan sekä laatan takaosaan yläpintaan. Muurin juuressa vaikuttava momentti syntyy tehokkaan leveyden alueella vaikuttavasta pohjapaineesta. Ylimoituksen välttämiseksi tähän pohjapaineeseen ei tarvitse huomioida maataytöstä ja pohjalaatan omasta painosta aiheutuvaa kuormaa, sillä ne eivät aiheuta mitoittavaan poikkileikkaukseen taivuttavia rasituksia (Nykyri 2015b, 185). Pohjapaineeseen vaikuttava pystykuorma redusoidaan tässä tapauksessa siis huomioimaan pelkästään pystymuurin paino sekä hyötykuorma. Pohjapaine lasketaan kaavan 28 mukaisesti ja siitä aiheutuva mitoitusmomentti pystymuurin juureen ratkaistaan kaavasta 29 (Nykyri 2015b, 184–186).

$$p_{Ed,red} = \frac{V_{d,red}}{B'}$$

KAAVA 28

$p_{Ed,red}$ tehollisen leveyden B' alueella vaikuttava pohjapaineen mitoitusarvo (kuva 7)

$V_{d,red}$ redusoidun pystykuorman mitoitusarvo

$$M_{Ed} = \frac{1}{2} p_{Ed,red} [\max(a_1, a_2)]^2$$

KAAVA 29

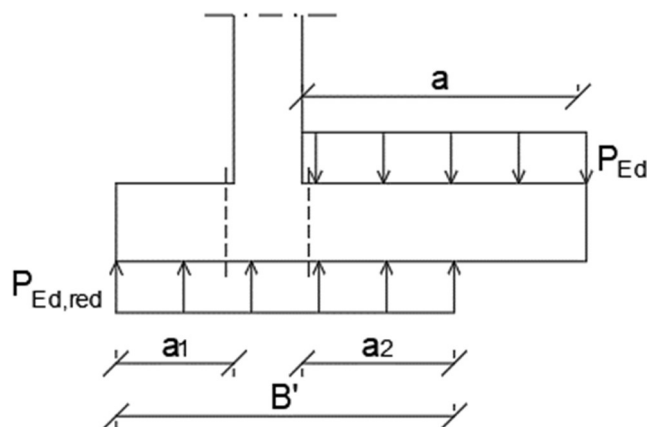
a_1 ja a_2 tehokkaan leveyden alueella vaikuttavia ulokkeita (kuva 7)

Laatan takaosan taivutusmomentti syntyy sen päällä vaikuttavista kuormista eli täyttömaan painosta ja hyötykuormasta. Mitoitusmomentti lasketaan kaavalla 30. Kaavassa tehdään varmallalla puolella oleva yksinkertaistus eikä huomioida laatan alla vaikuttavaa pohjapainetta vastavoimaksi. (Nykyri 2015b, 185.)

$$M_{Ed} = \frac{1}{2} p_{Ed} a^2$$

KAAVA 30

p_{Ed} pohjalaatan takaosan päällä vaikuttavan kuorman mitoitusarvo (kuva 7)



KUVA 7. Pohjalaattaan aiheutuvat taivutusrasitukset

7.1.2 Raudoitus

Poikkileikkauksen vaadittava raudoitus saadaan selvittämällä mitoitusmomentin mukainen suhteellinen taivutusmomentti μ (kaava 31), jonka tulee olla pienempi

kuin tasapainoraidoituksen mukainen suhteellinen momentti μ_{bd} (Nykyri 2015a; 95, 98–99; Nykyri 2015b, 48–50).

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b d^2 f_{cd}} \leq \mu_{bd} \quad \text{KAAVA 31}$$

M_{Ed} poikkileikkauksen mitoittava taivutusmomentti

b poikkileikkauksen leveys

d poikkileikkauksen tehollinen korkeus

f_{cd} betonin puristuslujuuden mitoitusarvo

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

f_{ck} betonin lieriölujuuden ominaisarvo

γ_c betonin materiaaliosavarmuusluku

α_{cc} betonin puristuslujuuskerroin,

Suomessa käytetään arvoa 0,85

μ_{bd} tasapainoraidoituksen mukainen suhteellinen momentti

$$\mu_{bd} = \beta_{bd} \left(1 - \frac{\beta_{bd}}{2} \right)$$

β_{bd} tasapainoraidoitusraja, $\beta_{bd} = \lambda \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{yd}}$

λ puristusvyöhykkeen määrittelyn parametri

$\lambda = 0,8$ kun $f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$

$\lambda = 0,8 - \frac{f_{ck} - 50}{400}$ kun $50 \text{ MPa} < f_{ck} \leq 90 \text{ MPa}$

ε_{cu} betonin murtopuristuma

ε_{yd} raidoituksen myötövenymä

Suhteellisen momentin perusteella lasketaan tehollisen puristusvyöhykkeen suhteellinen korkeus β kaavalla 32 (Nykyri 2015b, 49).

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2\mu} \quad \text{KAAVA 32}$$

Poikkileikkauksen vaadittu raidoitusala lasketaan kaavalla 33 (Nykyri 2015b, 49).

$$A_{s,vaad} = \omega d \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \quad \text{KAAVA 33}$$

ω mekaaninen raudoitussuhde, $\omega = \beta$

f_{yd} teräksen mitoituslujuus

Eurokoodissa määritellään vähimmäisraudoitusala, joka poikkileikkauksen tulee minimissään sisältää. Pääraudoitukselle vähimmäisraudoitusala $A_{s,min}$ on suurempi kaavan 34 arvoista. Jakoraudoitus on yhteen suuntaan kantaville laatoille vähintään 20 % pääraudoituksesta. Raudoituksien suurimmat sallitut tankovälit esitetään kansallisessa liitteessä. (SFS-EN 1992-1-1:2015, 150, 156.) Pääraudoitukselle tankoväli on maksimissaan 400 mm ja jakoraudoitukselle 600 mm. Pistekuormien tai maksimimomenttien kohdilla tankovälin enimmäisarvo on pääraudoitukselle 250 mm ja jakoraudoitukselle 400 mm. (NA SFS-EN 1992-1-1:2009, 12.)

$$A_{s,min} = \max \left[0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t d ; 0,0013 b_t d \right] \quad \text{KAAVA 34}$$

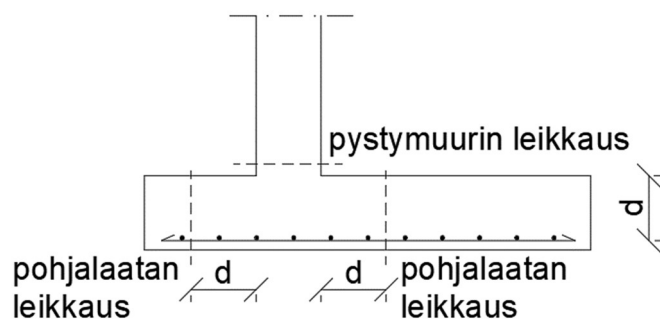
f_{ctm} betonin keskimääräinen vetolujuus

f_{yk} teräksen ominaislujuus

b_t vetopuolen keskimääräinen leveys

7.2 Leikkauskestävyys

Leikkauskestävyyden määrittämiseksi tulee ratkaista rakennetta kuormittavat suurimmat leikkausvoimat. Ulukkeena toimivan pystymuurin mitoittava leikkausvoima sijaitsee pystymuurin juuressa. Pohjalaatan mitoittavimmat leikkausvoimat sijaitsevat tehollisen korkeuden d etäisyydellä pystymuurin ja pohjalaatan liitoksesta (Nykyri 2015b, 185). Sijainnit on havainnollistettu kuvassa 8.



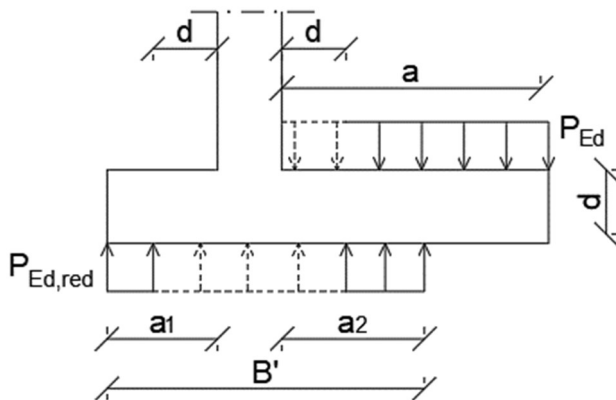
KUVA 8. Mitoittavien leikkausvoimien sijainti

7.2.1 Mitoittavat leikkausvoimat

Pystymuurin mitoittava leikkausvoima saadaan laskemalla yhteen täyttömaasta ja hyötykuormasta aiheutuvien maanpaineiden resultantit. Pohjalaatan mitoittavan leikkausvoiman (kaava 35) laskennassa käytetään samaa reduoitua pohjapaineen mitoitusarvoa tai laatan takaosaa kuormittavan voiman mitoitusarvoa kuin taivutusmitoituksessa (kuva 9).

$$V_{Ed} = \max [p_{Ed,red}; p_{Ed}] \cdot (a - d) \quad \text{KAAVA 35}$$

- $p_{Ed,red}$ tehollisen leveyden B' alueella vaikuttava pohjapaineen mitoitusarvo
- p_{Ed} laatan takaosan päällä vaikuttavien voimien mitoitusarvo
- a kuorman vaikutusalan ulokkeen mitta
- d poikkileikkauksen tehollinen korkeus



KUVA 9. Pohjalaatan mitoittava leikkausvoima

7.2.2 Leikkausraudoittamattoman rakenne

Leikkausraudoitusta ei tavallisesti käytetä laatan kaltaisissa rakenneosissa, joissa kuormien jakautuminen uudelleen poikittaisessa suunnassa on mahdollista (SFS-EN 1992-1-1. 2015, 84). Tukimuuria tarkastellaan mitoituksessa kahdena laattana, joten se käsitellään leikkausraudoittamattomana rakenteena. Leikkauskestävyyden osalta tulee siis tarkastaa, että leikkausraudoittamattoman rakenteen leikkauskestävyyden mitoitusarvo on suurempi kuin rakenteeseen kohdistuva leikkausvoima (kaava 36) (SFS-EN 1992-1-1. 2015, 84).

$$V_{Rd,c} \geq V_{Ed}$$

KAAVA 36

Leikkausraudoittamattomille rakenteille leikkauskestävyyden mitoitusarvo ratkaistaan kaavasta 37 (SFS-EN 1992-1-1. 2015, 84–85).

$$V_{Rd,c} = \max \left[(C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{\frac{1}{3}}) b_w d; v_{min} b_w d \right]$$

KAAVA 37

$C_{Rd,c}$ kansallinen suure, $C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c}$

k suure, joka ottaa huomioon poikkileikkauksen tehollisen korkeuden

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$$

ρ_l suure, joka ottaa huomioon poikkileikkauksen vetoraudoituksen

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} \leq 0,02$$

A_{sl} tarkasteltavan poikkileikkauksen momentin itseisarvon pienenemissuuntaan vähintään mitan ($l_{bd} + d$) verran ulottuvan vetoraudoituksen pinta-ala

b_w poikkileikkauksen pienin leveys vedetyllä korkeudella

f_{ck} betonin lieriölujuuden ominaisarvo

v_{min} kansallinen suure, $v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$

7.3 Halkeilun rajoittaminen

Teräsbetonirakenteissa kuormitukset, siirtymät, muodonmuutokset ja niiden aiheuttamat vaikutukset aiheuttavat rakenteelle halkeilua. Halkeilu ei saa olla esteenä rakenteen toimivuudelle tai säilyvyydelle eikä se saa myöskään vaikuttaa merkittävästi rakenteen ulkonäköön. Edellä mainittujen seikkojen vuoksi teräsbetonirakenteen halkeilua tulee rajoittaa. (SFS-EN 1992-1-1. 2015, 117–118.)

Halkeilun rajoittamiseksi tulee tarkistaa, että laskennallinen halkeamaleveys on pienempi kuin halkeilun raja-arvo (kaava 38) (SFS-EN 1992-1-1. 2015, 118).

$$w_k \leq w_{max}$$

KAAVA 38

Halkeilun raja-arvo määritetään rakenteen rasisluokan mukaan. Rakenteille, jotka ovat kuivissa sisätiloissa tai pysyvästi vedenalaisena, suositeltu raja-arvo

$w_{max} = 0,4 \text{ mm}$. Muissa tapauksissa teräsbetonirakenteille käytetään raja-arvoa $w_{max} = 0,3 \text{ mm}$. (SFS-EN 1992-1-1. 2015, 118.)

Laskennallinen halkeamaleveys saadaan ratkaistua kaavasta 39 (SFS-EN 1992-1-1. 2015, 123).

$$w_k = s_{r,max}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \quad \text{KAAVA 39}$$

$s_{r,max}$	suurin halkeamaväli
ε_{sm}	kyseisen kuormitusyhdistelmän aiheuttama keskimääräinen raudoituksessa vaikuttava venymä
ε_{cm}	halkeamien välinen keskimääräinen betonin venymä

Suurin halkeamaväli määritetään kaavalla 40 (SFS-EN 1992-1-1. 2015, 123).

$$s_{r,max} = k_3c + k_1k_2k_4\phi/\rho_{p,eff} \quad \text{KAAVA 40}$$

c	vetoraudoituksen betonipeite
ϕ	terästangon halkaisija. Mikäli poikkileikkauksessa on halkaisijaltaan erikokoisia tankoja, käytetään ekvivalenttia halkaisijaa ϕ_{eq}
k_1	tankojen tartuntaominaisuudet huomioiva kerroin $k_1 = 0,8$ tangot, joilla on hyvä tartunta $k_1 = 1,6$ tangot, joiden pinta on lähes tasainen
k_2	venymäjakauman huomioiva kerroin $k_2 = 0,5$ taivutukselle $k_2 = 1,0$ pelkälle vedolle
k_3	kansallinen kerroin, $k_3 = 3,4$
k_4	kansallinen kerroin, $k_4 = 0,425$
$\rho_{p,eff}$	geometrinen raudoitussuhde $\rho_{p,eff} = A_s/A_{c,eff}$ A_s vetoraudoituksen pinta-ala $A_{c,eff}$ vetojännityksen alaisena olevan betoniteräksiä ympäröivän betonialueen tehollinen pinta-ala alueen korkeuden ollessa $h_{c,eff}$

$$h_{c,eff} = \min[2,5(h-d); (h-x)/3; h/2]$$

h poikkileikkauksen korkeus

d poikkileikkauksen tehollinen korkeus

x neutraaliakselin korkeus

$$x = d * \rho * \alpha_e * \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2}{\rho * \alpha_e}}\right)$$

Raudoituksen venymän ja betonin venymän välinen erotus lasketaan kaavasta 41 (SFS-EN 1992-1-1. 2015, 123–124).

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_p,eff} (1 + \alpha_e \rho_p,eff)}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s} \quad \text{KAAVA 41}$$

σ_s halkeilleeksi oletetun poikkileikkauksen vetoraudoituksessa vaikuttava jännitys

$$\sigma_s = M_k / (A_s * z)$$

M_k käyttörajatilan mitoittava momentti

z sisäinen momenttivarsi

k_t kuorman vaikutusajasta riippuva kerroin

$k_t = 0,6$ lyhytaikaiselle kuormitukselle

$k_t = 0,4$ pitkäaikaiselle kuormitukselle

$f_{ct,eff}$ betonin vetolujuuden keskiarvo halkeamien muodostumisen ajankohtana, $f_{ct,eff} = f_{ctm}$

α_e betoniteräksen kimmokertoimen E_s ja betonin kimmokertoimen E_{cm} suhde

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$$

8 LASKENTASOVELLUS

Opinnäytetyön tarkoituksena oli laatia toimeksiantajayritykselle Microsoft Excel -sovelluksella tehty laskentapohja, jolla voidaan mitoittaa teräsbetonirakenteisen kulmatukimuurin kestävyys niin geotekniseltä kuin rakenteelliselta kannalta tarkasteltuna. Laskentapohjalla pyrittiin tarjoamaan helppokäyttöinen ja selkeästi tulkittavissa oleva suunnittelutyökalu, jolla pystytään vähentämään moneen kertaan tehtävää työtä. Laskentapohjan toimivuuden tarkastamiseksi tehtiin esimerkkilaskelma todelliseen kohteeseen tulevasta kulmatukimuurista, joka ratkaistiin sekä käsin (liite 2) että Excel-sovelluksella (liite 3).

Laskentapohjan ulkoasu noudattaa samaa tyyliä kuin aiemmat yritykselle tehdyt Excel-pohjat. Sovellus on selkeyden vuoksi jaettu viiteen eri välilehteen. Sovelluksessa ensimmäisenä on Ohje-sivu, jossa ohjeistetaan suunnittelijaa sovelluksen käyttöön ja sen tulkitsemiseen. Sivulla on listattu, mitä tapauskohtaisia tietoja käyttäjän tulee kullakin muulla välilehdellä antaa. Nämä solut, joihin käyttäjän itse tulee syöttää arvo, on sovelluksessa maalattu harmaalla. Solujen maalausta hyödynnettiin selkeyttämään myös tulosten tulkitsemista; kestävyys ollessa riittävä solu maalautuu vihreäksi ja, jos kestävyys ei riitä, solu muuttuu punaiseksi. Sovelluksen käyttämisen helpottamiseksi joihinkin soluihin on myös lisätty ohjeellistavia kommentteja. Mikäli sovellukseen tehdään myöhemmin päivityksiä, myös niiden tiedot lisätään Ohje-sivulle.

Toisena sovelluksessa on Lähtötiedot-välilehti. Tälle välilehdelle syötetään rakenteen mitat, pohja- ja täyttömaan ominaisuudet, betonin ja raudituksen ominaisuudet sekä kuorma- ja yhdistelykertoimet. Rakenteen mitoissa voidaan huomioida pystymuurin mahdollinen porrastus. Pystymuurin kestävyys voidaan laskea porrastamattomana, yhdellä porrastuksella tai kahdella porrastuksella. Pystymuurin suurin momentti sijaitsee pystymuurin juuressa, joten porrastamalla rakennetta voidaan keventää ja raudoitusta vähentää pystymuurin yläosaa kohden.

Geotekninen mitoitus -välilehdellä mitoitetaan rakenteen kantokestävyys, liukumiskestävyys ja kaatumiskestävyys. Käyttöasteet ovat luettavissa heti ensimmäisinä ja taulukkoa alaspäin selaamalla voidaan tarkemmin tarkastella maanpaine kuormia, epäkeskisyyttä ja tehollisia pinta-aloja, kantokestävyyttä ja liukumiskestävyyttä avoimissa olosuhteissa sekä koko rakenteen kaatumiskestävyyttä. Suljettujen olosuhteiden tarkastelut on rajattu työstä pois. Maanpaine kuormat on määritetty erikseen GEO- ja EQU-rajatiloille. Suunnittelija valitsee käyttääkö mitoituksessa lepopainetta vai aktiivipainetta sen mukaan, onko rakenteelle sallittu siirtymiä. Sovellus huomioi myös tiivistyksen aiheuttaman maanpaineen, mikäli käyttäjä syöttää sovellukseen tiivistimen aiheuttaman viivakuorman suuruuden. Kantokestävyiden laskukaavat on syötetty sovellukseen, mutta mikäli geotekninen kantavuus on ilmoitettu pohjatutkimuksessa ja käyttäjä syöttää sen Lähtötiedot-sivulla ”sallittu maanpaine” -kohtaan, sovellus käyttää kantokestävyiden mitoittavana arvona pohjatutkimuksesta saatua arvoa.

Rakenteellinen mitoitus -sivulla on ensimmäisenä nähtävissä toteutunut raudoitus sekä halkeilun ja leikkauskestävyyden käyttöasteet. Tällä välilehdellä on tarkemmin esitetty maanpaine kuorma STR-rajatilassa lepopaineena, taivutuskestävyys ja vaadittava raudoitus, leikkauskestävyys leikkausraudoittamattomalle rakenteelle sekä rakenteen halkeilun rajoittaminen. Pystymuurin kestävyyttä ja raudoitusta on mahdollista tarkastella yhdessä, kahdessa tai kolmessa osassa riippuen siitä, onko lähtötietoihin syötetty porrastetun muurin korkeus- ja leveysarvot.

Sovelluksen viimeisimmässä Taulukot-välilehdessä on tietoja ja kertoimia, joiden ei ole laskennassa välttämätöntä olla nähtävissä, mutta joihin on viitattu laskennan suorittamisessa. Tarvittaessa nämä laskennasta piilotetut tiedot ovat kuitenkin omalta välilehdeltään löydettävissä.

9 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli laatia toimeksiantajayritykselle Excel-pohja, jolla voidaan mitoitaa kulmatukimuurin geotekninen ja rakenteellinen kestävyys. Geoteknisessä osuudessa tarkastettiin kulmatukimuurin kanto-, liukumis- ja kaatumiskestävyys. Rakenteellisessa osuudessa määritettiin mitoitavat taivutusmomentit ja vaadittava rauditus sekä tarkistettiin rakenteen leikkauskestävyys ja halkeilu.

Aihe oli opinnäytetyöksi laaja, joten rajauksia täytyi tehdä. Geoteknisessä osuudessa kokonaisvakavuustarkastelut jätettiin työstä pois, sillä niiden tutkiminen riittäisi jo yksistään laajuudeltaan opinnäytetyöksi. Laskennan yksinkertaistamiseksi vedenpaine ja routa jätettiin työssä huomioimatta. Kantokestävyuden ja liukumiskestävyuden osalta laskentasovellukseen ohjelmoitiin pelkästään avoimissa olosuhteissa tehtävä tarkastelu, sillä työssä keskitytään kitkamaiden tarkasteluun. Myös käyttörajatilassa tapahtuva painumien tarkastaminen rajattiin työstä pois. Rakenteellisessa mitoituksessa tarkastettiin rakenteen riittävä kestävyys ja määritettiin rauditus, mutta raudituksen ankkurointi ja eri aikaan valettujen osien leikkauskestävyys on rajattu työn ulkopuolelle. Työn ulkopuolelle rajattuja tekijöitä voi kuitenkin lisätä laskentasovellukseen jatkossa, jos sitä halutaan kehittää vielä pidemmälle.

Laskentasovelluksesta haluttiin tehdä käyttökelpoinen mahdollisimman monipuolisille rakenteille, joten esimerkiksi pystymuurin mahdollinen porrastaminen otettiin työssä huomioon. Porrastuksen huomioiminen monimutkaisti Exceliin syötettäviä kaavoja melkoisesti ja vaati oman aikansa, mutta uskon sen olleen vaivan arvoista ja tämän ominaisuuden olevan hyödyksi erityisesti korkeita tukimuureja suunniteltaessa.

Aiheen laajuus on tuonut opinnäytetyön tekemiseen ajallisia haasteita, mutta työ on ollut myös todella opettavainen. Työn tekeminen on edellyttänyt perehtymistä geotekniikkaan ja teräsbetonirakenteiden suunnitteluun, joista molemmat tulevat työelämässä vastaan myös muissa kuin tukimuurin kaltaisissa tilanteissa, joten niiden hallinnasta on hyötyä. Mielestäni itse Excel-sovellus on

myös onnistunut, sillä se on ulkoasultaan selkeä ja yhdenmukainen ja sisältää tukimuurin mitoitusta koskevia tekijöitä kattavasti.

LÄHTEET

Bond, Andrew - Harris, Andrew 2008. Decoding Eurocode 7. E-kirja. Saatavissa: <https://oula.finna.fi/Record/oula.1125859> (vaatii käyttäjälisenssin).

Hakupäivä 3.4.2019.

Bond, Andrew - Brooker, Owen - Harris, Andrew - Harrison, T. - Moss, Richard - Narayanan, R. S. - Webster, Rod 2006. How to Design Concrete Structures using Eurocode 2? E-kirja. Saatavissa: https://mycourses.aalto.fi/plugin-file.php/363369/mod_resource/content/1/How%20to%20design%20concrete%20structures%20using%20Eurocode%202.pdf. Hakupäivä 31.5.2018.

Eurokoodin soveltamisohje - Geotekninen suunnittelu - NCCI 7. 2017. Liikennevirasto. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2017-13_ncci7_web.pdf. Hakupäivä 23.7.2018.

Eurokoodit - Eurooppalaiset kantavien rakenteiden suunnittelustandardit. 2018. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Saatavissa: https://www.sfs.fi/files/309/eurokoodi_web.pdf. Hakupäivä 8.6.2018.

Jääskeläinen, Raimo 2011. Geotekniikan perusteet. Jyväskylä: Tammertekniikka / Amk-Kustannus Oy.

NA SFS-EN 1992-1-1. 2009. Kansallinen liite standardiin Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Ympäristöministeriö.

NA SFS-EN 1990. 2007. Kansallinen liite standardiin SFS-EN 1990 Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet. Ympäristöministeriö.

Nykyri, Pekka 2015a. by 211 Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja - osa 1. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

Nykyri, Pekka 2015b. by 211 Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja - osa 2. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

Rantamäki, Martti - Tammirinne, Markku 2002. Pohjarakennus. Helsinki: Oy Yliopistokustannus.

RIL 157–1. 1985. Geomekaniikka I. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 207–2017. 2017. Geotekninen suunnittelu. Eurokoodin EN 1997-1 suunnitteluohje. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 263–2014. 2014. Kaivanto-ohje. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Savolainen, Jonne 2015. Kulmatukimuurin geo- ja rakennetekninen suunnittelu. Diplomityö. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan osasto.

SFS-EN 1990. 2006. Eurokoodi: Rakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 1992-1-1. 2015. Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 1997-1. 2014. Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu. Osa 1: Yleiset säännöt. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

TAULUKKO 1. Yhdistelykertoimien ψ arvot rakennuksille (NA SFS-EN 1990. 2007, 2)

Kuorma	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Hyötykuormat rakennuksissa, luokka (SFS-EN 1991-1-1)			
Luokka A: asuintilat	0,7	0,5	0,3
Luokka B: toimistotilat	0,7	0,5	0,3
Luokka C: kokoontumistilat	0,7	0,7	0,3
Luokka D: myymälätilat	0,7	0,7	0,6
Luokka E: varastotilat	1,0	0,9	0,8
Luokka F: liikennöitävät tilat, ajoneuvon paino ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6 ^{**)}
Luokka G: liikennöitävät tilat, $30\text{kN} < \text{ajoneuvon paino} \leq 160$ kN	0,7	0,5	0,3 ^{**)}
Luokka H: vesikatot	0	0	0
Lumikuorma (katso SFS-EN 1991-1-3) ^{*1} kun			
$s_k < 2,75$ kN/m ²	0,7	0,4	0,2
$s_k \geq 2,75$ kN/m ²	0,7	0,5	0,2
Jääkuorma ^{***)}	0,7	0,3	0
Rakennusten tuulikuormat (SFS-EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Rakennusten sisäinen lämpötila (ei tulipalossa) (SFS-EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
^{*1} Ulkotasoilla ja parvekkeilla $\psi_0 = 0$ luokkien A, B, F ja G yhteydessä. Huomautus: Mikäli rakennuksessa on eri kuormaluokkia, joita ei voi erotella omiin selviin ryhmiinsä, käytetään ψ -arvoja, jotka antavat epäedullisimman vaikutuksen. ^{**)} Ajokäytävillä $\psi_2 = 0$ ^{***)} Koskee huurtumisesta, jäätävästä sateesta ja räntäsateesta aiheutuvia jääkuormia			

LASKENTAESIMERKKI

Laskuesimerkin kulmatukimuuri on Rovaniemelle rakennettavan kerrostalon parkkihallin ajorampin viereinen tukimuuri. Kyseessä on korkea tukimuuri, joten pystymuuri suunnitellaan ja toteutetaan porrastettuna. Suunniteltu käyttöikä on 50 vuotta ja rasisusluokka XC4.

Lähtötiedot

Tukimuurin mitat arvioidaan laskennan alussa.

$L = 1,0 \text{ m}$	$h_{m1} = 1,6 \text{ m}$	$h_L = 0,4 \text{ m}$	$h_f = 4,2 \text{ m}$
$B = 2,2 \text{ m}$	$h_{m2} = 1,4 \text{ m}$	$d_1 = 0,4 \text{ m}$	$\beta = 0^\circ$
$b_1 = 0,3 \text{ m}$	$h_{m3} = 1,4 \text{ m}$	$d_2 = 0,3 \text{ m}$	$\theta = 0^\circ$
$b_2 = 1,5 \text{ m}$	$h_{m4} = 0,6 \text{ m}$	$d_3 = 0,2 \text{ m}$	

Pohjamaan ominaisuudet

$$\gamma_1 = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi'_1 = 40^\circ$$

$$c_1 = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$R_d = 350 \text{ kN/m}^2$$

Täyttömaan ominaisuudet

$$\gamma_2 = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi'_2 = 35^\circ$$

$$c_2 = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$OCR = 1,0$$

Betonin ominaisuudet

$$\gamma_3 = 25 \text{ kN/m}^3$$

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{cm} = 38,0 \text{ MPa}$$

$$c_{nom} = 35 \text{ mm}$$

$$f_{cd} = 17 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 32,8 \text{ GPa}$$

$$c_{nom,p} = 50 \text{ mm}$$

$$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

Raudoituksen ominaisuudet

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

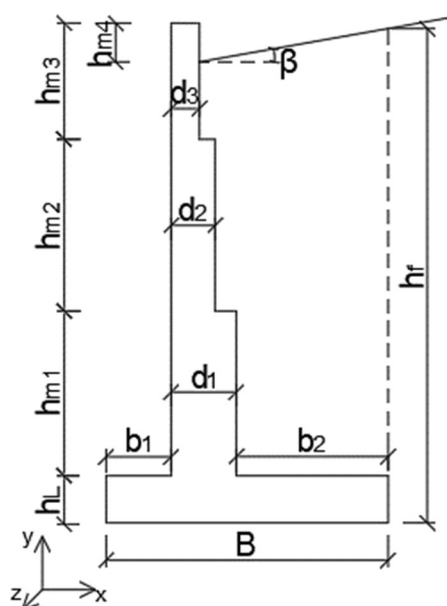
$$f_{yd} = 435 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200,0 \text{ GPa}$$

Materiaaliosavarmuusluvut

$$\gamma_c = 1,5$$

$$\gamma_s = 1,15$$



Kuormat

Tukimuurin pystysuunnassa vaikuttavat kuormat aiheutuvat rakenteen omasta painosta, maatyöstä sekä maan pinnalla vaikuttavasta muuttuvasta kuormasta eli tässä tapauksessa lumikuormasta. Rovaniemellä lumikuorma maassa on $3,0 \text{ kN/m}^2$. Laskennassa tarkastellaan metrin mittaista kaistaletta.

$$K_{FI} = 1,0$$

$$\psi_2 = 0,2$$

$$\begin{aligned} G_{k,täyttö} &= (b_2 \cdot h_1 + (b_2 + d_1 - d_2) \cdot h_2 + (b_2 + d_1 - d_3) \cdot (h_3 - h_4)) \cdot \gamma_2 \\ &= 108,0 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$G_{k,muuri} = (d_1 \cdot h_1 + d_2 \cdot h_2 + d_3 \cdot h_3) \cdot \gamma_3 = 33,5 \text{ kN/m}$$

$$G_{k,laatta} = B \cdot h_L \cdot \gamma_3 = 22,0 \text{ kN/m}$$

$$Q_k = 3,0 \text{ kN/m}^2$$

Maanpainekuormat ovat täyttömaasta ja hyötykuormasta aiheutuvia kuormia, jotka kuormittavat rakennetta vaakasuoraan. Maanpainekuormien suuruus riippuu käsiteltävästä rajatilasta. Rajatilojen osavarmuusluvut on käsitelty luvussa 3.4 Osavarmuusluvut. Rakenteellinen mitoitus tehdään aina lepopaineelle, kun taas geoteknisessä mitoituksessa rakenteelle sallittava liikkuvuus määrittää, käytetäänkö laskennassa aktiivi- vai lepopainetta. Tässä esimerkissä geotekninen mitoitus tehdään aktiivipaineella, sillä rakenteen liikkuvuus on sallittua. Maanpaineissa huomioidaan myös tiivistyksestä aiheutunut pysyvä maanpaine.

Tiivistyksen aiheuttama maanpaine, arvot taulukosta 9:

$$q = 1 \text{ kN/m}$$

$$P_t = 12 \text{ kN/m}^2$$

STR/GEO

$$\varphi'_{1,d} = \tan^{-1}(\tan \varphi'_1 / \gamma_{\phi'}) = 40^\circ$$

$$\varphi'_{2,d} = \tan^{-1}(\tan \varphi'_2 / \gamma_{\phi'}) = 35^\circ$$

$$\delta = 3/4 \varphi'_{2,d} = 26^\circ$$

$$\delta_k = 40^\circ$$

Aktiivipaine:

$$m_t = [\cos^{-1}(-\frac{\sin\beta}{\sin(-\varphi'_{2,d})}) - (-\varphi'_{2,d}) - \beta]/2 = 62,5^\circ$$

$$m_w = \left[\cos^{-1}\left(\frac{\sin(-\delta)}{\sin(-\varphi'_{2,d})}\right) - (-\varphi'_{2,d}) - (-\delta) \right] / 2 = 50,4^\circ$$

$$v = m_t + \beta - m_w - \theta = -64,5^\circ = 0,21 \text{ rad}$$

$$K_{an} = \frac{1 + \sin(-\varphi'_{2,d}) \cdot \sin(2 \cdot m_w - \varphi'_{2,d})}{1 - \sin(-\varphi'_{2,d}) \cdot \sin(2 \cdot m_t - \varphi'_{2,d})} \cdot e^{(2 \cdot v \cdot \tan(-\varphi'_{2,d}))} = 0,23$$

$$K_{aq} = K_{an} \cdot \cos^2\beta = 0,23$$

$$K_{ay} = K_{an} \cdot \cos\beta \cdot \cos(\beta - \theta) = 0,23$$

$$K_{ah} = K_{ay} \cdot \cos\delta = 0,21$$

$$z_a = K_{ah} \cdot P_t / \gamma_2 = 0,13 \text{ m}$$

$$h_{ka} = \frac{P_t}{K_0 \cdot \gamma_2} = 3,30 \text{ m}$$

$$P_{a,G,k} = K_{ay} \cdot \gamma_2 \cdot h_f = 17,0 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{a,Q,k} = K_{aq} \cdot Q_k = 0,7 \text{ kN/m}^2$$

Lepopaine:

$$K_0 = (1 - \sin\varphi'_{2,d}) \sqrt{OCR} = 0,43$$

$$P_{0,G,k} = K_0 \cdot \gamma_2 \cdot (h_{m1} + h_{m2} + h_{m3} - h_{m4}) = 29,2 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{0,Q,k} = K_0 \cdot Q_k = 1,3 \text{ kN/m}^2$$

$$z_0 = K_0 \cdot P_t / \gamma_2 = 0,28 \text{ m}$$

$$h_{k0} = \frac{P_t}{K_0 \cdot \gamma_2} = 1,56 \text{ m}$$

KUORMITUS-TAPAUKSET	Pystykuorma V					Vaakakuorma H				
	6.10b		6.10a			6.10b		6.10a		
	Pysyvä		Muut-tuva	Pysyvä		Pysyvä		Muut-tuva	Pysyvä	
	1,15	0,9	1,5	1,35	0,9	1,15	0,9	1,5	1,35	0,9
KT1 V _{max} +H _{max}	x		x			x		x		
KT2 V _{max} +H _{max}				x					x	
KT3 V _{min} +H _{max}		x				x		x		
KT4 V _{min} +H _{max}					x				x	

GEOTEKNINEN MITOITUS

Geoteknisessä mitoituksessa tarkastellaan kantokestävyys ja liukumiskestävyys. Kaatumiskestävyyttä ei tässä tapauksessa tarkastella, sillä tukimuuria ei ole perustettu kalliolle.

DA2* menetelmä

Kuormitustapaukset (KT), epäkeskisyys ja teholliset pinta-alat

KT1 (V_{max}+H_{max}) 6.10b

$$V_{k1} = G_{k,täyttö} + G_{k,muuri} + G_{k,laatta} + Q_k \cdot (b_2 + d_1 - d_3) = 168,6 \text{ kN/m}$$

$$V_{d1} = \max[1,15 \cdot (G_{k,täyttö} + G_{k,muuri} + G_{k,laatta}) + 1,5 \cdot Q_k \cdot (b_2 + d_1 - d_3); 1,35 \cdot (G_{k,täyttö} + G_{k,muuri} + G_{k,laatta})] = 220,7 \text{ kN/m}$$

$$H_{k1} = p_t/2 \cdot z_a + P_t \cdot (h_{ka} - z_a) + (P_{a,G,k} + P_t)/2 \cdot (h_f - h_{ka}) + P_{a,Q,k} \cdot h_f \\ = 54,7 \text{ kN/m}$$

$$H_{d1} = \max[1,15 \cdot (p_t/2 \cdot z_a + P_t \cdot (h_{ka} - z_a) + (P_{a,G,k} + p_t)/2 \cdot (h_f - h_{ka})) + 1,5 \cdot \sigma_{a,Q,k} \cdot h_f; 1,35 \cdot [1,15 \cdot (P_t/2 \cdot z_a + p_t \cdot (h_{ka} - z_a) + (P_{a,G,k} + p_t)/2 \cdot (h_f - h_{ka}))]] = 70,0 \text{ kN/m}$$

$$M(G_{k,täyttö}) = \gamma_2 \cdot h_{m1} \cdot b_2 \cdot \left(\frac{B}{2} - \frac{b_2}{2}\right) + \gamma_2 \cdot h_{m2} \cdot (b_2 + d_1 - d_2) \cdot \left(\frac{B}{2} - \frac{b_2+d_1-d_2}{2}\right) + \\ \gamma_2 \cdot (h_{m3} - h_{m4}) \cdot (b_2 + d_1 - d_3) \cdot \left(\frac{B}{2} - \frac{b_2+d_1-d_3}{2}\right) = 33,3 \text{ kNm/m}$$

$$M(G_{k,muuri}) = \gamma_3 \cdot h_{m1} \cdot d_1 \cdot \left(\frac{B}{2} - \frac{d_1}{2} - b_1\right) + \gamma_3 \cdot h_{m2} \cdot d_2 \cdot \left(\frac{B}{2} - \frac{d_2}{2} - b_1\right) + \gamma_3 \cdot h_{m3} \cdot \\ d_3 \cdot \left(\frac{B}{2} - \frac{d_3}{2} - b_1\right) = 21,3 \text{ kNm/m}$$

$$M(Q_k) = Q_k \cdot (b_2 + d_1 - d_3) \cdot \left(\frac{B}{2} - \frac{b_2+d_1-d_3}{2}\right) = 1,3 \text{ kNm/m}$$

$$M(P_{a,G,k}) = P_t/2 \cdot z_a \cdot \left(h_f - \frac{2}{3}z_a\right) + P_t \cdot (h_f - z_a)^2/2 + (P_{a,G,k} - P_t)/2 \cdot \\ (h_f - h_{ka})^2/3 = 103,2 \text{ kNm/m}$$

$$M(P_{a,Q,k}) = P_{a,Q,k} \cdot h_f^2/2 = 6,0 \text{ kNm/m}$$

$$M_{k1} = M(P_{a,G,k}) + M(P_{a,Q,k}) + M(G_{k,muuri}) - M(G_{k,täyttö}) - M(Q_k) \\ = 95,8 \text{ kNm/m}$$

$$e_1 = M_{k1}/V_{k1} = 0,57 \text{ m} \leq B/3 = 0,73 \text{ ehto toteutuu}$$

$$B' = B - 2 \cdot e_1 = 1,1 \text{ m}$$

$$L' = L = 1,0 \text{ m}$$

$$A' = B' \cdot L' = 1,1 \text{ m}^2$$

KT2 (V_{max}+H_{max}) 6.10a

$$V_{k2} = G_{k,täyttö} + G_{k,muuri} + G_{k,laatta} = 163,5 \text{ kN/m}$$

$$V_{d2} = \max[1,15 \cdot (G_{k,täyttö} + G_{k,muuri} + G_{k,laatta}); 1,35 \cdot (G_{k,täyttö} + G_{k,muuri} + G_{k,laatta})] = 220,7 \text{ kN/m}$$

$$H_{k2} = p_t/2 \cdot z_a + P_t \cdot (h_{ka} - z_a) + (P_{a,G,k} + P_t)/2 \cdot (h_f - h_{ka}) = 51,9 \text{ kN/m}$$

$$H_{d2} = \max[1,15 \cdot (P_t/2 \cdot z_a + p_t \cdot (h_{ka} - z_a) + (P_{a,G,k} + P_t)/2 \cdot (h_f - h_{ka})); 1,35 \cdot (P_t/2 \cdot z_a + P_t \cdot (h_{ka} - z_a) + (P_{a,G,k} + P_t)/2 \cdot (h_f - h_{ka}))] = 70,0 \text{ kN/m}$$

$$M(G_{k,täyttö}) = 33,3 \text{ kNm/m}$$

$$M(G_{k,muuri}) = 21,3 \text{ kNm/m}$$

$$M(P_{a,G,k}) = 103,2 \text{ kNm/m}$$

$$M_{k2} = M(P_{a,G,k}) + M(G_{k,muuri}) - M(G_{k,täyttö}) = 91,2 \text{ kNm/m}$$

$$e_2 = M_{k2}/V_{k2} = 0,56 \text{ m} \leq B/3 = 0,7 \text{ ehto toteutuu}$$

$$B' = B - 2 \cdot e_2 = 1,1 \text{ m}$$

$$L' = L = 1,0 \text{ m}$$

$$A' = B' \cdot L' = 1,1 \text{ m}^2$$

Kantokestävyys, avoimet olosuhteet

Laskentaesimerkin tapauksessa maassa ei esiinny koheesiota, joten koheesioon huomioon ottavat kertoimet jätetään kantokestävyuden laskennasta pois. Pohjaveden pinta on syvällä, joten sitä ei huomioida. Pohjamaan tehokkaasta leikkauskestävyysskulmasta määräytyvät kantavuuskertoimet ja perustus pohjan kaltevuuden mukaan määräytyvät kaltevuuskertoimet ovat kuormitustapauksesta riippumattomia.

$$\gamma'_1 = \gamma_1 = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$q' = \gamma'_1 \cdot h_f = 79,8 \text{ kN/m}^2$$

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi'_{1,d}} \tan^2(45^\circ + \varphi'_{1,d}/2) = 64,2$$

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \tan \varphi'_{1,d} = 106,1$$

$$b_q = b_\gamma = 1,0, \text{ perustus pohjan kaltevuus } \alpha = 0$$

Muotokertoimet sekä vaakakuorman aiheuttamat kaltevuuden kertoimet laskeaan kuormitustapausten mukaan. Vaakakuorma H vaikuttaa tehokkaan leveyden B' suunnassa. Laskentaesimerkin tapauksessa maassa ei esiinny koheesiota, joten koheesion huomioon ottavat kertoimet jätetään kantokestävyyden ominaisarvon laskukaavasta pois. Kantokestävyyden mitoitusarvo saadaan jakamalla ominaisarvo kantokestävyyden osavarmuusluvulla. Mitoitusarvoa verrataan kunkin kuormitustapauksen pystykuormien maksimiarvoihin.

KT1 (V_{max}+H_{max}) 6.10b

$$s_q = 1 + (B'/L') \sin \varphi'_{1,d} = 1,68$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3(B'/L') = 0,68$$

$$m = m_B = [2 + (B'/L')]/[1 + (B'/L')] = 1,48$$

$$i_q = [1 - H_{k1}/V_{k1}]^m = 0,56$$

$$i_\gamma = [1 - H_{k1}/V_{k1}]^{m+1} = 0,38$$

$$R_k/A' = q'N_q b_q s_q i_q + 0,5\gamma' B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma \\ = 5091,7 \text{ kN/m}$$

$$R_{d1} = R_k/A' \cdot A'/\gamma_{R,v} = 3492,1 \text{ kN/m}$$

$$V_{d1}/R_{d1} = \frac{220,7 \text{ kN/m}}{3492,1 \text{ kN/m}} = 0,063 < 1,0$$

→ehto toteutuu!

KT2 (V_{max}+H_{max}) 6.10a

$$s_q = 1,70$$

$$s_\gamma = 0,67$$

$$m = m_B = 1,48$$

$$i_q = 0,57$$

$$i_\gamma = 0,39$$

$$R_k/A' = 5230,2 \text{ kN/m}$$

$$R_{d2} = 3661,1 \text{ kN/m}$$

$$V_{d2}/R_{d2} = 0,060 < 1,0$$

→ ehto toteutuu!

Lähtötiedoissa annettu kantokestävyydelle arvo $R_d = 350 \text{ kN/m}^2$

$$V_{d1}/R_d = \frac{189,0 \text{ kN/m}}{350,0 \text{ kN/m}^2 \cdot A'} = 0,593 < 1,0$$

→ehto toteutuu!

$$V_{d2}/R_d = 0,581 < 1,0$$

→ ehto toteutuu!

Liukumiskestävyys**KT1 (V_{max}+H_{max}) 6.10b**

$$R_{d1} = V_{d1} \tan \delta_k / \gamma_{R,h} = 168,4 \text{ kN/m}$$

$$H_{d1}/R_{d1} = \frac{56,4 \text{ kN/m}}{144,2 \text{ kN/m}} = 0,416 < 1,0$$

→ehto toteutuu!

KT2 (V_{max}+H_{max}) 6.10

$$R_{d2} = 168,4 \text{ kN/m}$$

$$H_{d2}/R_{d2} = 0,416 < 1,0$$

→ehto toteutuu!

DA2 menetelmä

Kuormitustapaukset (KT), epäkeskisyys ja teholliset pinta-alat

KT1 (V_{max}+H_{max}) 6.10b

$$V_{d1} = K_{FI} \cdot [1,15 \cdot (G_{k,täyttö} + G_{k,muuri} + G_{k,laatta}) + 1,5 \cdot Q_k \cdot (b_2 + d_1 - d_3)] \\ = 195,7 \text{ kN/m}$$

$$H_{d1} = K_{FI} \cdot \left[1,15 \cdot \left(p_t/2 \cdot z_a + P_t \cdot (h_{ka} - z_a) + (P_{a,G,k} + P_t)/2 \cdot (h_f - h_{ka}) \right) + 1,5 \cdot P_{a,Q,k} \cdot h_f \right] = 63,9 \text{ kN/m}$$

$$M(G_{d,täyttö}) = K_{FI} \cdot 1,15 \cdot \left(\gamma_2 \cdot h_{m1} \cdot b_2 \cdot \left(\frac{B}{2} - \frac{b_2}{2} \right) + \gamma_2 \cdot h_{m2} \cdot (b_2 + d_1 - d_2) \cdot \left(\frac{B}{2} - \frac{b_2+d_1-d_2}{2} \right) + \gamma_2 \cdot (h_{m3} - h_{m4}) \cdot (b_2 + d_1 - d_3) \cdot \left(\frac{B}{2} - \frac{b_2+d_1-d_3}{2} \right) \right) = \\ 38,3 \text{ kNm/m}$$

$$M(G_{d,muuri}) = K_{FI} \cdot 1,15 \cdot \left(\gamma_3 \cdot h_{m1} \cdot d_1 \cdot \left(\frac{B}{2} - \frac{d_1}{2} - b_1 \right) + \gamma_3 \cdot h_{m2} \cdot d_2 \cdot \left(\frac{B}{2} - \frac{d_2}{2} - b_1 \right) + \gamma_3 \cdot h_{m3} \cdot d_3 \cdot \left(\frac{B}{2} - \frac{d_3}{2} - b_1 \right) \right) = 24,5 \text{ kNm/m}$$

$$M(Q_d) = K_{FI} \cdot 1,5 \cdot Q_k \cdot (b_2 + d_1 - d_3) \cdot \left(\frac{B}{2} - \frac{b_2+d_1-d_3}{2} \right) = 1,9 \text{ kNm/m}$$

$$M(P_{a,G,d}) = K_{FI} \cdot 1,15 \cdot \left(P_t/2 \cdot z_a \cdot \left(h_f - \frac{2}{3} z_a \right) + P_t \cdot (h_f - z_a)^2/2 + (P_{a,G,k} - P_t)/2 \cdot (h_f - h_{ka})^2/3 \right) = 118,6 \text{ kNm/m}$$

$$M(P_{a,Q,d}) = K_{FI} \cdot 1,5 \cdot P_{a,Q,k} \cdot \frac{h_f^2}{2} = 8,9 \text{ kNm/m}$$

$$M_{d1} = M(P_{a,G,d}) + M(P_{a,Q,d}) + M(G_{d,muuri}) - M(G_{d,täyttö}) - M(Q_d) \\ = 111,9 \text{ kNm/m}$$

$$e_1 = \frac{M_{d1}}{V_{d1}} = 0,57 \text{ m}$$

$$B' = B - 2 \cdot e_1 = 1,1 \text{ m}$$

$$L' = L = 1,0 \text{ m}$$

$$A' = B' \cdot L' = 1,1 \text{ m}^2$$

KT2 (V_{max}+H_{max}) 6.10a

$$V_{d2} = K_{FI} \cdot 1,35 \cdot (G_{k,täyttö} + G_{k,muuri} + G_{k,laatta}) = 220,7 \text{ kN/m}$$

$$H_{d2} = K_{FI} \cdot 1,35 \cdot \left[\left(P_t/2 \cdot z_a + P_t \cdot (h_{ka} - z_a) + (P_{a,G,k} + P_t)/2 \cdot (h_f - h_{ka}) \right) \right] \\ = 70,0 \text{ kN/m}$$

$$M(G_{d,täyttö}) = K_{FI} \cdot 1,35 \cdot \left[\gamma_2 \cdot h_{m1} \cdot b_2 \cdot \left(\frac{B}{2} - \frac{b_2}{2} \right) + \gamma_2 \cdot h_{m2} \cdot (b_2 + d_1 - d_2) \cdot \left(\frac{B}{2} - \frac{b_2+d_1-d_2}{2} \right) + \gamma_2 \cdot (h_{m3} - h_{m4}) \cdot (b_2 + d_1 - d_3) \cdot \left(\frac{B}{2} - \frac{b_2+d_1-d_3}{2} \right) \right] = \\ 45,0 \text{ kNm/m}$$

$$M(G_{d,muuri}) = K_{FI} \cdot 1,35 \cdot \left[\gamma_3 \cdot h_{m1} \cdot d_1 \cdot \left(\frac{B}{2} - \frac{d_1}{2} - b_1 \right) + \gamma_3 \cdot h_{m2} \cdot d_2 \cdot \left(\frac{B}{2} - \frac{d_2}{2} - b_1 \right) + \gamma_3 \cdot h_{m3} \cdot d_3 \cdot \left(\frac{B}{2} - \frac{d_3}{2} - b_1 \right) \right] = 28,8 \text{ kNm/m}$$

$$M(P_{a,G,d}) = K_{FI} \cdot 1,35 \cdot \left(P_t/2 \cdot z_a \cdot \left(h_f - \frac{2}{3} z_a \right) + P_t \cdot (h_f - z_a)^2/2 + (P_{a,G,k} - P_t)/2 \cdot (h_f - h_{ka})^2/3 \right) = 96,7 \text{ kNm/m}$$

$$M_{d2} = M(P_{a,G,d}) + M(G_{d,muuri}) - M(G_{d,täyttö}) = 123,1 \text{ kNm/m}$$

$$e_2 = \frac{M_{d2}}{V_{d2}} = 0,56 \text{ m}$$

$$B' = B - 2 \cdot e_2 = 1,1 \text{ m}$$

$$L' = L = 1,0 \text{ m}$$

$$A' = B' \cdot L' = 1,1 \text{ m}^2$$

KT3 (V_{min}+H_{max}) 6.10b

$$V_{d3} = K_{FI} \cdot 0,9 \cdot (G_{k,täyttö} + G_{k,muuri} + G_{k,laatta}) = 147,2 \text{ kN/m}$$

$$H_{d3} = K_{FI} \cdot \left[1,15 \cdot \left(P_t/2 \cdot z_a + P_t \cdot (h_{ka} - z_a) + (P_{a,G,k} + P_t)/2 \cdot (h_f - h_{ka}) \right) + 1,5 \cdot P_{a,Q,k} \cdot h_f \right] = 63,9 \text{ kN/m}$$

$$M(G_{d,täyttö}) = K_{FI} \cdot 0,9 \cdot \left[\gamma_2 \cdot h_{m1} \cdot b_2 \cdot \left(\frac{B}{2} - \frac{b_2}{2} \right) + \gamma_2 \cdot h_{m2} \cdot (b_2 + d_1 - d_2) \cdot \left(\frac{B}{2} - \frac{b_2 + d_1 - d_2}{2} \right) + \gamma_2 \cdot (h_{m3} - h_{m4}) \cdot (b_2 + d_1 - d_3) \cdot \left(\frac{B}{2} - \frac{b_2 + d_1 - d_3}{2} \right) \right] = 30,0 \text{ kNm/m}$$

$$M(G_{d,muuri}) = K_{FI} \cdot 0,9 \cdot \left[\gamma_3 \cdot h_{m1} \cdot d_1 \cdot \left(\frac{B}{2} - \frac{d_1}{2} - b_1 \right) + \gamma_3 \cdot h_{m2} \cdot d_2 \cdot \left(\frac{B}{2} - \frac{d_2}{2} - b_1 \right) + \gamma_3 \cdot h_{m3} \cdot d_3 \cdot \left(\frac{B}{2} - \frac{d_3}{2} - b_1 \right) \right] = 19,2 \text{ kNm/m}$$

$$M(P_{a,G,d}) = K_{FI} \cdot 1,15 \cdot \left(P_t/2 \cdot z_a \cdot \left(h_f - \frac{2}{3} z_a \right) + P_t \cdot (h_f - z_a)^2/2 + (P_{a,G,k} - P_t)/2 \cdot (h_f - h_{ka})^2/3 \right) = 118,6 \text{ kNm/m}$$

$$M(P_{a,Q,d}) = K_{FI} \cdot 1,5 \cdot P_{a,Q,k} \cdot \frac{h_f^2}{2} = 8,9 \text{ kNm/m}$$

$$M_{d3} = M(P_{a,G,d}) + M(P_{a,Q,d}) + M(G_{d,muuri}) - M(G_{d,täyttö}) = 116,8 \text{ kNm/m}$$

$$e_3 = \frac{M_{d3}}{V_{d3}} = 0,79 \text{ m}$$

$$B' = B - 2 \cdot e_3 = 0,6 \text{ m}$$

$$L' = L = 1,0 \text{ m}$$

$$A' = B' \cdot L' = 0,6 \text{ m}^2$$

KT4 (V_{min}+H_{max}) 6.10a

$$V_{d4} = K_{FI} \cdot 0,9 \cdot (G_{k,täyttö} + G_{k,muuri} + G_{k,laatta}) = 147,2 \text{ kN/m}$$

$$H_{d4} = K_{FI} \cdot 1,35 \cdot [P_t/2 \cdot z_a + P_t \cdot (h_{ka} - z_a) + (P_{a,G,k} + P_t)/2 \cdot (h_f - h_{ka})] \\ = 70,0 \text{ kN/m}$$

$$M(G_{d,täyttö}) = K_{FI} \cdot 0,9 \cdot [\gamma_2 \cdot h_{m1} \cdot b_2 \cdot (\frac{B}{2} - \frac{b_2}{2}) + \gamma_2 \cdot h_{m2} \cdot (b_2 + d_1 - d_2) \cdot (\frac{B}{2} - \frac{b_2+d_1-d_2}{2}) + \gamma_2 \cdot (h_{m3} - h_{m4}) \cdot (b_2 + d_1 - d_3) \cdot (\frac{B}{2} - \frac{b_2+d_1-d_3}{2})] \\ = 30,0 \text{ kNm/m}$$

$$M(G_{d,muuri}) = K_{FI} \cdot 0,9 \cdot [\gamma_3 \cdot h_{m1} \cdot d_1 \cdot (\frac{B}{2} - \frac{d_1}{2} - b_1) + \gamma_3 \cdot h_{m2} \cdot d_2 \cdot (\frac{B}{2} - \frac{d_2}{2} - b_1) + \gamma_3 \cdot h_{m3} \cdot d_3 \cdot (\frac{B}{2} - \frac{d_3}{2} - b_1)] = 19,2 \text{ kNm/m}$$

$$M(P_{a,G,d}) = K_{FI} \cdot 1,35 \cdot (P_t/2 \cdot z_a \cdot (h_f - \frac{2}{3}z_a) + P_t \cdot (h_f - z_a)^2/2 + (P_{a,G,k} - P_t)/2 \cdot (h_f - h_{ka})^2/3) = 139,3 \text{ kNm/m}$$

$$M_{d4} = M(P_{a,G,d}) + M(G_{d,muuri}) - M(G_{d,täyttö}) = 128,5 \text{ kNm/m}$$

$$e_4 = \frac{M_{d4}}{V_{d4}} = 0,87 \text{ m}$$

$$B' = B - 2 \cdot e_4 = 0,5 \text{ m}$$

$$L' = L = 1,0 \text{ m}$$

$$A' = B' \cdot L' = 0,5 \text{ m}^2$$

Kantokestävyys, avoimet olosuhteet**KT1 (V_{max}+H_{max}) 6.10b**

$$s_q = 1 + (B'/L') \sin \varphi'_{1,d} = 1,68$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3(B'/L') = 0,68$$

$$m = m_B = [2 + (B'/L')]/[1 + (B'/L')] = 1,49$$

$$i_q = [1 - H_{d1}/V_{d1}]^m = 0,56$$

$$i_\gamma = [1 - H_{d1}/V_{d1}]^{m+1} = 0,37$$

$$R_k/A' = q' N_q b_q s_q i_q + 0,5 \gamma' B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma \\ = 3443,7 \text{ kN/m}$$

$$R_{d1} = R_k/A' \cdot \frac{A'}{\gamma_{R,v}} = 3443,7 \text{ kN/m}$$

$$V_{d1}/R_{d1} = \frac{195,7 \text{ kN/m}}{3443,7 \text{ kN/m}} = 0,057 < 1,0$$

→ehto toteutuu!

KT2 (V_{max}+H_{max}) 6.10

$$s_q = 1,70$$

$$s_\gamma = 0,67$$

$$m = m_B = 1,48$$

$$i_q = 0,57$$

$$i_\gamma = 0,39$$

$$R_k/A' = 5230,2 \text{ kN/m}$$

$$R_{d2} = 3661,1 \text{ kN/m}$$

$$V_{d2}/R_{d2} = 0,060 < 1,0$$

→ehto toteutuu!

KT3 (V_{min}+H_{max}) 6.10b

$$s_q = 1 + (B'/L') \sin \varphi'_{1,d} = 1,39$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3(B'/L') = 0,82$$

$$m = m_B = [2 + (B'/L')]/[1 + (B'/L')] = 1,62$$

$$i_q = [1 - H_{d3}/V_{d3}]^m = 0,40$$

$$i_\gamma = [1 - H_{d3}/V_{d3}]^{m+1} = 0,22$$

$$R_k/A' = q'N_q b_q s_q i_q + 0,5\gamma' B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma \\ = 2950,6 \text{ kN/m}$$

$$R_{d3} = R_k/A' \cdot \frac{A'}{\gamma_{R,v}} = 1166,6 \text{ kN/m}$$

$$V_{d3}/R_{d3} = \frac{147,2 \text{ kN/m}}{1166,6 \text{ kN/m}} = 0,126 < 1,0$$

→ehto toteutuu!

Lähtötiedoissa annettu kantokestävyydelle arvo $R_d = 350 \text{ kN/m}^2$

$$V_{d1}/R_d = \frac{195,7 \text{ kN/m}}{350,0 \text{ kN/m}^2 \cdot A'} = 0,508 < 1,0$$

→ehto toteutuu!

$$V_{d3}/R_{d3} = 0,701 < 1,0$$

→ehto toteutuu!

Liukumiskestävyys**KT1 (V_{max}+H_{max}) 6.10b**

$$R_{d1} = \frac{V_{d1} \tan \delta_k}{\gamma_{R,h}} = 149,3 \text{ kN/m}$$

$$H_{d1}/R_{d1} = \frac{70,0 \text{ kN/m}}{149,3 \text{ kN/m}} = 0,428 < 1,0$$

→ehto toteutuu!

KT3 (V_{min}+H_{max}) 6.10b

$$R_{d3} = \frac{V_{d3} \tan \delta_k}{\gamma_{R,h}} = 112,2 \text{ kN/m}$$

$$H_{d3}/R_{d3} = 0,569 < 1,0$$

→ehto toteutuu!

KT4 (V_{min}+H_{max}) 6.10a

$$s_q = 1,29$$

$$s_\gamma = 0,86$$

$$m = m_B = 1,69$$

$$i_q = 0,34$$

$$i_\gamma = 0,18$$

$$R_k/A' = 2294,0 \text{ kN/m}$$

$$R_{d4} = 671,9 \text{ kN/m}$$

$$V_{d4}/R_{d4} = 0,219 < 1,0$$

→ehto toteutuu!

$$V_{d2}/R_d = 0,573 < 1,0$$

→ehto toteutuu!

$$V_{d4}/R_{d4} = 0,926 < 1,0$$

→ehto toteutuu!

KT2 (V_{max}+H_{max}) 6.10

$$R_{d2} = 168,4 \text{ kN/m}$$

$$H_{d2}/R_{d2} = 0,416 < 1,0$$

→ehto toteutuu!

KT4 (V_{min}+H_{max}) 6.10

$$R_{d4} = 112,2 \text{ kN/m}$$

$$H_{d4}/R_{d4} = 0,624 < 1,0$$

→ehto toteutuu!

RAKENTEELLINEN MITOITUS

Rakenteellisessa mitoituksessa kuormitus kohdistuu suoraan rakenteeseen eikä kuvitteelliseen seinään. Maanpaineena käytetään rakenteellisessa tarkastelussa aina lepopainetta. Kyseessä on korkea tukimuuri, joten pystymuuri tehdään kolmeen osaan porrastettuna.

Pystymuuri

Taivutuskestävyys ja rauditus

Mitoittava momentti sijaitsee pystymuurin juuressa. Lasketaan leikkausvoimat (MRT) ja mitoitusmomentit (KRT ja MRT) jokaisen porrastuksen juuressa.

KT1 6.10b

$$\begin{aligned} V_{d1,ala} &= K_{FI} \cdot 1,15 \cdot [P_t \cdot z_0/2 + P_t \cdot (h_{k0} - z_0) + (P_{0,G,k} + P_t)/2 \cdot (h_{m1} + h_{m2} + \\ & h_{m3} - h_{m4} - h_{k0})] + K_{FI} \cdot 1,5 \cdot P_{0,Q,k} \cdot (h_{m1} + h_{m2} + h_{m3} - h_{m4}) \\ &= 79,8 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{d1,keski} &= K_{FI} \cdot 1,15 \cdot [P_t \cdot z_0/2 + P_t \cdot (h_{k0} - z_0) + \\ & (K_0 \cdot \gamma_2 \cdot (h_{m2} + h_{m3} - h_{m4}) + P_t)/2 \cdot (h_{m2} + h_{m3} - h_{m4} - h_{k0})] + \\ & K_{FI} \cdot 1,5 \cdot P_{0,Q,k} \cdot (h_{m2} + h_{m3} - h_{m4}) = 35,0 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{d1,ylä} &= K_{FI} \cdot 1,15 \cdot [P_t \cdot z_0/2 + P_t \cdot (h_{k0} - z_0) + (K_0 \cdot \gamma_2 \cdot (h_{m3} - h_{m4}) + P_t)/2 \cdot \\ & (h_{m3} - h_{m4} - h_{k0})] + K_{FI} \cdot 1,5 \cdot P_{0,Q,k} \cdot (h_{m3} - h_{m4}) = 13,4 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{k,1,ala} &= P_t/2 \cdot z_a \cdot \left(h_{m1} + h_{m2} + h_{m3} - h_{m4} - \frac{2}{3} z_a \right) + P_t \cdot (h_{m1} + h_{m2} + h_{m3} - \\ & h_{m4} - z_a)^2/2 + (P_{0,G,k} - P_t)/2 \cdot (h_{m1} + h_{m2} + h_{m3} - h_{m4} - h_{ka})^2/3 + \\ & \psi_2 \cdot P_{0,Q,k} \cdot (h_{m1} + h_{m2} + h_{m3} - h_{m4})^2/2 = 96,5 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{k,1,keski} &= P_t/2 \cdot z_a \cdot \left(h_{m2} + h_{m3} - h_{m4} - \frac{2}{3} z_a \right) + P_t \cdot (h_{m2} + h_{m3} - h_{m4} - z_a)^2/ \\ & 2 + (K_0 \cdot \gamma_2 \cdot (h_{m2} + h_{m3} - h_{m4}) - P_t)/2 \cdot (h_{m2} + h_{m3} - h_{m4} - h_{ka})^2/ \\ & 3 + \psi_2 \cdot P_{0,Q,k} \cdot (h_{m2} + h_{m3} - h_{m4})^2/2 = 26,4 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{k,1,ylä} &= P_t/2 \cdot z_a \cdot \left(h_{m3} - h_{m4} - \frac{2}{3} z_a \right) + P_t \cdot (h_{m3} - h_{m4} - z_a)^2/2 + (K_0 \cdot \gamma_2 \cdot \\ & (h_{m3} - h_{m4}) - P_t)/2 \cdot (h_{m3} - h_{m4} - h_{ka})^2/3 + \psi_2 \cdot P_{0,Q,k} \cdot \\ & (h_{m3} - h_{m4})^2/2 = 2,7 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{d,1,ala} &= K_{FI} \cdot 1,15 \cdot [P_t/2 \cdot z_a \cdot \left(h_{m1} + h_{m2} + h_{m3} - h_{m4} - \frac{2}{3} z_a \right) + P_t \cdot \\ & (h_{m1} + h_{m2} + h_{m3} - h_{m4} - z_a)^2/2 + (P_{0,G,k} - P_t)/2 \cdot (h_{m1} + h_{m2} + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & h_{m3} - h_{m4} - h_{ka})^2/3] + K_{FI} \cdot 1,5 \cdot P_{0,Q,k} \cdot (h_{m1} + h_{m2} + h_{m3} - h_{m4})^2/ \\ & 2 = 122,7 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{d,1,keski} &= K_{FI} \cdot 1,15 \cdot [P_t/2 \cdot z_a \cdot (h_{m2} + h_{m3} - h_{m4} - \frac{2}{3}z_a) + P_t \cdot (h_{m2} + h_{m3} - \\ & h_{m4} - z_a)^2/2 + (K_0 \cdot \gamma_2 \cdot (h_{m2} + h_{m3} - h_{m4}) - P_t)/2 \cdot (h_{m2} + h_{m3} - \\ & h_{m4} - h_{ka})^2/3] + K_{FI} \cdot 1,5 \cdot P_{0,Q,k} \cdot (h_{m2} + h_{m3} - h_{m4})^2/2 = \\ & 34,3 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{d,1,ylä} &= K_{FI} \cdot 1,15 \cdot [P_t/2 \cdot z_a \cdot (h_{m3} - h_{m4} - \frac{2}{3}z_a) + P_t \cdot (h_{m3} - h_{m4} - z_a)^2/2 + \\ & (K_0 \cdot \gamma_2 \cdot (h_{m3} - h_{m4}) - P_t)/2 \cdot (h_{m3} - h_{m4} - h_{ka})^2/3] + K_{FI} \cdot 1,5 \cdot \\ & P_{0,Q,k} \cdot (h_{m3} - h_{m4})^2/2 = 3,6 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

KT2 6.10a

$$\begin{aligned} V_{d2,ala} &= K_{FI} \cdot 1,35 \cdot [P_t \cdot z_0/2 + p_t \cdot (h_{k0} - z_0) + (P_{0,G,k} + P_t)/2 \cdot (h_{m1} + h_{m2} + \\ & h_{m3} - h_{m4} - h_{k0})] = 85,2 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{d2,keski} &= K_{FI} \cdot 1,35 \cdot [P_t \cdot z_0/2 + P_t \cdot (h_{k0} - z_0) + \\ & (K_0 \cdot \gamma_2 \cdot (h_{m2} + h_{m3} - h_{m4}) + P_t)/2 \cdot (h_{m2} + h_{m3} - h_{m4} - h_{k0})] = \\ & 35,4 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{d2,ylä} &= K_{FI} \cdot 1,35 \cdot [P_t \cdot z_0/2 + P_t \cdot (h_{k0} - z_0) + (K_0 \cdot \gamma_2 \cdot (h_{m3} - h_{m4}) + P_t)/2 \cdot \\ & (h_{m3} - h_{m4} - h_{k0})] = 13,7 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{k,2,ala} &= P_t/2 \cdot z_a \cdot (h_{m1} + h_{m2} + h_{m3} - h_{m4} - \frac{2}{3}z_a) + P_t \cdot (h_{m1} + h_{m2} + h_{m3} - \\ & h_{m4} - z_a)^2/2 + (P_{0,G,k} - P_t)/2 \cdot (h_{m1} + h_{m2} + h_{m3} - h_{m4} - h_{ka})^2/3 = \\ & 94,6 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{k,2,keski} &= P_t/2 \cdot z_a \cdot (h_{m2} + h_{m3} - h_{m4} - \frac{2}{3}z_a) + P_t \cdot (h_{m2} + h_{m3} - h_{m4} - z_a)^2/ \\ & 2 + (K_0 \cdot \gamma_2 \cdot (h_{m2} + h_{m3} - h_{m4}) - P_t)/2 \cdot (h_{m2} + h_{m3} - h_{m4} - h_{ka})^2/ \\ & 3 = 25,8 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{k,2,ylä} &= P_t/2 \cdot z_a \cdot (h_{m3} - h_{m4} - \frac{2}{3}z_a) + P_t \cdot (h_{m3} - h_{m4} - z_a)^2/2 + (K_0 \cdot \gamma_2 \cdot \\ & (h_{m3} - h_{m4}) - P_t)/2 \cdot (h_{m3} - h_{m4} - h_{ka})^2/3 = 2,6 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{d,2,ala} &= K_{FI} \cdot 1,35 \cdot [P_t/2 \cdot z_a \cdot (h_{m1} + h_{m2} + h_{m3} - h_{m4} - \frac{2}{3}z_a) + P_t \cdot \\ & (h_{m1} + h_{m2} + h_{m3} - h_{m4} - z_a)^2/2 + (P_{0,G,k} - P_t)/2 \cdot (h_{m1} + h_{m2} + \\ & h_{m3} - h_{m4} - h_{ka})^2/3] = 127,8 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

$$M_{d,2,keski} = K_{FI} \cdot 1,35 \cdot [P_t/2 \cdot z_a \cdot (h_{m2} + h_{m3} - h_{m4} - \frac{2}{3}z_a) + P_t \cdot (h_{m2} + h_{m3} - h_{m4} - z_a)^2/2 + (K_0 \cdot \gamma_2 \cdot (h_{m2} + h_{m3} - h_{m4}) - P_t)/2 \cdot (h_{m2} + h_{m3} - h_{m4} - h_{ka})^2/3] = 34,8 \text{ kNm/m}$$

$$M_{d,2,ylä} = K_{FI} \cdot 1,35 \cdot [P_t/2 \cdot z_a \cdot (h_{m3} - h_{m4} - \frac{2}{3}z_a) + P_t \cdot (h_{m3} - h_{m4} - z_a)^2/2 + (K_0 \cdot \gamma_2 \cdot (h_{m3} - h_{m4}) - P_t)/2 \cdot (h_{m3} - h_{m4} - h_{ka})^2/3] = 3,0 \text{ kNm/m}$$

Vaadittu raudoitus ratkaistaan mitoittavan momentin perusteella.

Raudoitus pystymuurin alaosassa:

$$M_{Ed} = \max[M_{d,1,ala}; M_{d,2,ala}] = 127,8 \text{ kNm/m}$$

$$b = L = 1000 \text{ mm}$$

$$d = d_1 - 1,1 \cdot \frac{\phi}{2} - c_{nom} = 358,4 \text{ mm}$$

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b d^2 f_{cd}} = 0,0585$$

$$\omega = \beta = 1 - \sqrt{1 - 2\mu} = 0,0603$$

$$A_{s,m,y,vaad} = \omega b d \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 845,4 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_{s,m,y,min} = \max [0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t d ; 0,0013 b_t d] = 540,5 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Valitaan muurin alaosan täytön puoleiseksi y-suuntaiseksi raudoitukseksi T12–k100 ($A_{s,m,y,ala} = 1131,0 \text{ mm}^2/\text{m}$). Poikkileikkauksen toisessa reunassa y-suuntaiseksi raudoitukseksi riittää minimiraudoitus. Raudoitus z-suunnassa on vähintään 20 % pääraudoituksesta, valitaan z-suunnan raudoitukseksi T10–k300 ($A_{s,m,z,ala} = 261,8 \text{ mm}^2$).

Raudoitus pystymuurin keskiosassa:

$$M_{Ed} = 34,8 \text{ kNm/m}$$

$$d = 259,5 \text{ mm}$$

$$\mu = 0,0304$$

$$\omega = \beta = 0,0309$$

$$A_{s,m,y,vaad} = 313,3 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_{s,m,y,min} = 391,3 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Valitaan T10–k200

$$(A_{s,m,y,keski} = 392,7 \text{ mm}^2/\text{m}),$$

Raudoitus pystymuurin yläosassa:

$$M_{Ed} = 3,6 \text{ kNm/m}$$

$$d = 160,6 \text{ mm}$$

$$\mu = 0,0083$$

$$\omega = \beta = 0,0084$$

$$A_{s,m,y,vaad} = 52,4 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_{s,m,y,min} = 242,2 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Valitaan T8–k200

$$(A_{s,m,y,ylä} = 251,3 \text{ mm}^2/\text{m}),$$

T8-k400 ($A_{s,m,z,keski} = 125,7 \text{ mm}^2$)T8-k400 ($A_{s,m,z,ylä} = 125,7 \text{ mm}^2$)**Leikkauskestävyyden tarkistaminen**

$$C_{Rd,c} = 0,12$$

Pystymuurin alaosa:

$$V_{Ed} = \max[V_{d,1,ala}; V_{d,2,ala}] = 85,2 \text{ kN/m}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1,75$$

$$v_{min} = 0,035k^{3/2}f_{ck}^{1/2} = 0,44$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} = 0,0032$$

$$V_{Rd,c} = \max\left[(C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3})b_w d; v_{min} b_w d\right] = 158,9 \text{ kN/m}$$

$$V_{Ed}/V_{Rd,c} = 0,536 < 1,0 \rightarrow \text{ehto toteutuu!}$$

Pystymuurin keskiosa:

$$V_{Ed} = 35,4 \text{ kN/m}$$

$$k = 1,88$$

$$v_{min} = 0,49$$

$$\rho_l = 0,0015$$

$$V_{Rd,c} = 128,0 \text{ kN/m}$$

$$V_{Ed}/V_{Rd,c} = 0,277 < 1,0$$

→ehto toteutuu!

Pystymuurin yläosa:

$$V_{Ed} = 13,7 \text{ kN/m}$$

$$k = 2,00$$

$$v_{min} = 0,54$$

$$\rho_l = 0,0016$$

$$V_{Rd,c} = 87,1 \text{ kN/m}$$

$$V_{Ed}/V_{Rd,c} = 0,157 < 1,0$$

→ehto toteutuu!

Halkeilun rajoittaminen

$$w_{max} = 0,3 \text{ mm}$$

$$k_1 = 0,8$$

$$k_2 = 0,5$$

$$k_3 = 3,4$$

$$k_4 = 0,425$$

$$k_t = 0,4$$

$$f_{ct,eff} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = 6,1$$

Pystymuurin alaosa:

$$x = d \cdot \rho \cdot \alpha_e \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2}{\rho \cdot \alpha_e}}\right) = 63,7 \text{ mm}$$

$$z = d - \frac{x}{3} = 337,2 \text{ mm}$$

$$\sigma_s = \max[M_{k,1,ala}; M_{k,2,ala}] / (A_{s,m,y,ala} \cdot z) = 253 \text{ MPa}$$

$$h_{c,eff} = \min\left[2,5(d_1 - d); \frac{d_1 - x}{3}; \frac{d_1}{2}\right] = 104,0 \text{ mm}$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_{s,m,y,ala}}{A_{c,eff}} = \frac{A_{s,m,y,ala}}{b \cdot h_{c,eff}} = 0,011$$

$$s_{r,max} = k_3(C_{nom} + \phi) + \frac{k_1 k_2 k_4 \phi}{\rho_{p,eff}} = 340,6 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} = 0,0008 \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 0,26 \text{ mm} \leq w_{max} \rightarrow \text{ehto toteutuu!}$$

Pystymuurin keskiosa:

$$x = 32,9 \text{ mm}$$

$$z = 248,5 \text{ mm}$$

$$\sigma_s = 270 \text{ MPa}$$

$$h_{c,eff} = 89,0 \text{ mm}$$

$$\rho_{p,eff} = 0,004$$

$$s_{r,max} = 531,6 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,0000$$

$$w_k = 0,00 \text{ mm} \leq w_{max}$$

→ ehto toteutuu!

Pystymuurin yläosa:

$$x = 20,7 \text{ mm}$$

$$z = 153,7 \text{ mm}$$

$$\sigma_s = 70 \text{ MPa}$$

$$h_{c,eff} = 59,8 \text{ mm}$$

$$\rho_{p,eff} = 0,004$$

$$s_{r,max} = 469,6 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,0002$$

$$w_k = 0,10 \text{ mm} \leq w_{max}$$

→ ehto toteutuu!

Pohjalaatta

Alapinnan taivutuskestävyys ja raudoitus

KT1 6.10b

$$p_{k,red,1} = \frac{V_{k,red,1}}{B'} = \frac{G_{k,muuri} + \psi_2 \cdot Q_k \cdot (b_2 + d_1 - d_3)}{B'} = 31,4 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{d,red,1} = \frac{V_{d,red,1}}{B'} = \frac{K_{FI} [1,15 \cdot G_{k,muuri} + 1,5 \cdot Q_k \cdot (b_2 + d_1 - d_3)]}{B'} = 43,4 \text{ kN/m}^2$$

$$a_1 = b_1 = 0,3 \text{ m}$$

$$a_2 = B' - b_1 - d_1 = 0,4 \text{ m}$$

$$M_{k,l,alap,1} = \frac{1}{2} p_{k,red,1} [\max(a_1, a_2)]^2 = 2,1 \text{ kNm/m}$$

$$M_{d,l,alap,1} = \frac{1}{2} p_{d,red,1} [\max(a_1, a_2)]^2 = 2,9 \text{ kNm/m}$$

KT2 6.10a

$$p_{k,red,2} = \frac{V_{k,red,2}}{B'} = \frac{G_{k,muuri}}{B'} = 30,5 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{d,red,2} = \frac{V_{d,red,2}}{B'} = \frac{K_{FI} \cdot 1,35 \cdot G_{k,muuri}}{B'} = 41,7 \text{ kN/m}^2$$

$$a_1 = b_1 = 0,3 \text{ m}$$

$$a_2 = B' - b_1 - d_1 = 0,4 \text{ m}$$

$$M_{k,l,alap,2} = 2,3 \text{ kNm/m}$$

$$M_{d,l,alap,2} = 3,1 \text{ kNm/m}$$

Vaadittu raudoitus ratkaistaan mitoittavan momentin perusteella.

$$M_{Ed} = \max[M_{d,l,alap,1}; M_{d,l,alap,2}] = 3,1 \text{ kNm/m}$$

$$b = L = 1000 \text{ mm}$$

$$d = h_L - 1,1 \cdot \frac{\phi}{2} - c_{nom,p} = 343,4 \text{ mm}$$

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b d^2 f_{cd}} = 0,0015$$

$$\omega = \beta = 1 - \sqrt{1 - 2\mu} = 0,0015$$

$$A_{s,vaad} = \omega b d \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 20,7 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_{s,min} = \max \left[0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t d ; 0,0013 b_t d \right] = 517,8 \text{ mm}^2$$

Vähimmäisraudoitusala on mitoittava, valitaan pohjalaatan alapinnan raudoitukseksi x-suunnassa T12–k200 ($A_{s,l,x,ala} = 565,5 \text{ mm}^2$). Raudoitus z-suunnassa on vähintään 20 % pääraudoituksesta, valitaan z-suunnan raudoitukseksi T8–k300 ($A_{s,l,z,ala} = 167,6 \text{ mm}^2$).

Yläpinnan taivutuskestävyys ja raudoitus

KT1 6.10b

$$p_{EK,1} = \frac{G_{k,täyttö} + \psi_2 \cdot Q_k \cdot (b_2 + d_1 - d_3)}{b_2} = 72,7 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{Ed,1} = \frac{K_{FI} [1,15 \cdot G_{k,täyttö} + 1,5 \cdot Q_k \cdot (b_2 + d_1 - d_3)]}{b_2} = 87,9 \text{ kN/m}^2$$

$$a = b_2 = 1,5 \text{ m}$$

$$M_{k,l,yläp,1} = \frac{1}{2} p_{EK,1} c^2 = 81,8 \text{ kNm/m}$$

$$M_{d,l,yläp,1} = \frac{1}{2} p_{Ed,1} c^2 = 98,9 \text{ kNm/m}$$

KT2 6.10a

$$p_{EK,2} = \frac{G_{k,täyttö}}{b_2} = 72,0 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{Ed,2} = \frac{K_{Fl} \cdot [1,35 \cdot G_{k,täyttö}]}{b_2} = 97,2 \text{ kN/m}^2$$

$$a = b_2 = 1,5 \text{ m}$$

$$M_{k,l,yläp,2} = \frac{1}{2} p_{Ek,2} c^2 = 81,0 \text{ kNm/m}$$

$$M_{d,l,yläp,2} = \frac{1}{2} p_{Ed,2} c^2 = 109,4 \text{ kNm/m}$$

Vaadittu raudoitus ratkaistaan mitoittavan momentin perusteella.

$$M_{Ed} = \max[M_{d,l,yläp,1}; M_{d,l,yläp,2}] = 109,4 \text{ kNm/m}$$

$$b = L = 1000 \text{ mm}$$

$$d = h_L - 1,1 \cdot \phi - 1,1 \cdot \frac{\phi}{2} - c_{nom} = 358,4 \text{ mm}$$

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b d^2 f_{cd}} = 0,0501$$

$$\omega = \beta = 1 - \sqrt{1 - 2\mu} = 0,0514$$

$$A_{s,vaad} = \omega b d \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 720,3 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_{s,min} = \max \left[0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t d ; 0,0013 b_t d \right] = 540,5 \text{ mm}^2$$

Vähimmäisraudoitusala on mitoittava, valitaan pohjalaatan yläpinnan raudoitukseksi T12–k100 ($A_{s,l,x,ylä} = 1131,0 \text{ mm}^2$). Raudoitus z-suunnassa on vähintään 20 % pääraudoituksesta, valitaan z-suunnan raudoitukseksi T10–k300 ($A_{s,l,z,ala} = 261,8 \text{ mm}^2$).

Pohjalaatan leikkauskestävyyden tarkistaminen

$$\text{Mitoittava leikkausvoima } V_{Ed} = \max[p_{Ed,red}; p_{Ed}] \cdot (c - d) = 111,0 \text{ kN/m}$$

$$C_{Rd,c} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1,76$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,45$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} = 0,0033$$

$$V_{Rd,c} = \max \left[(C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3}) b_w d ; v_{min} b_w d \right] = 155,9 \text{ kN/m}$$

$$V_{Ed}/V_{Rd,c} = 0,712 < 1,0 \rightarrow \text{ehto toteutuu!}$$

Halkeilun rajoittaminen

Pohjalaatan alapinta:

$$x = d \cdot \rho \cdot \alpha_e \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2}{\rho \cdot \alpha_e}} \right) = 45,3 \text{ mm}$$

$$z = d - \frac{x}{3} = 328,3 \text{ mm}$$

$$\sigma_s = \max[M_{k,1,ala}; M_{k,2,ala}] / (A_{s,m,y,ala} \cdot z) = 12,3 \text{ MPa}$$

$$h_{c,eff} = \min \left[2,5(d_1 - d); \frac{d_1 - x}{3}; \frac{d_1}{2} \right] = 118,2 \text{ mm}$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_{s,m,y,ala}}{A_{c,eff}} = \frac{A_{s,m,y,ala}}{b \cdot h_{c,eff}} = 0,005$$

$$s_{r,max} = k_3(C_{nom} + \phi) + \frac{k_1 k_2 k_4 \phi}{\rho_{p,eff}} = 444,1 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} = 0,0000 \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 0,02 \text{ mm} \leq w_{max}$$

→ ehto toteutuu!

Pohjalaatan yläpinta:

$$x = 63,7 \text{ mm}$$

$$z = 337,2 \text{ mm}$$

$$\sigma_s = 214,4 \text{ MPa}$$

$$h_{c,eff} = 104,0 \text{ mm}$$

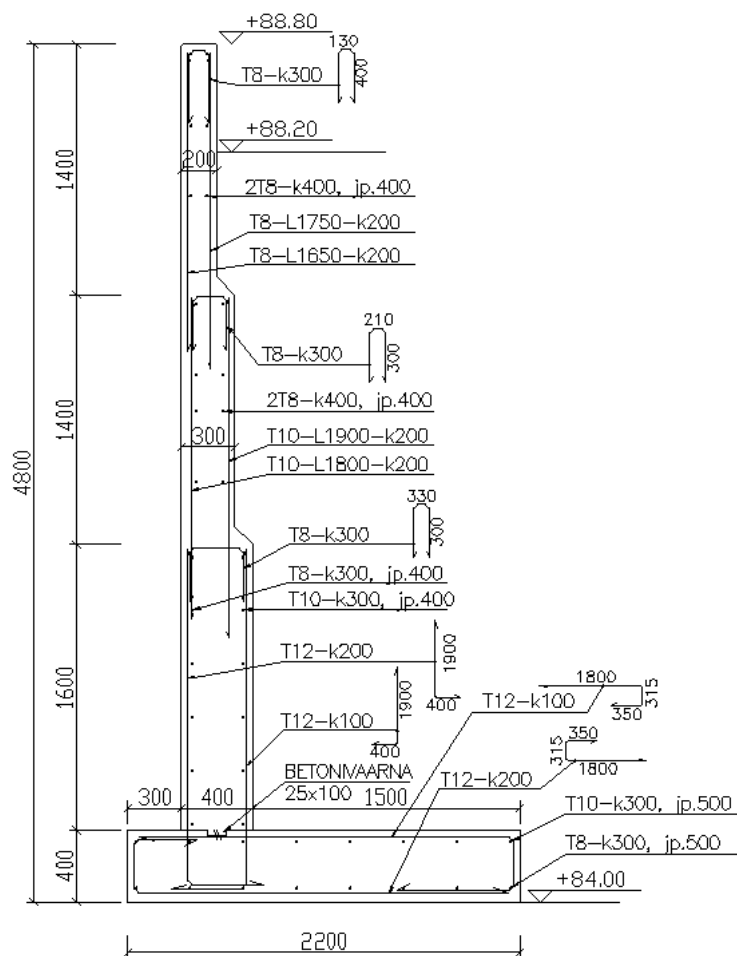
$$\rho_{p,eff} = 0,011$$

$$s_{r,max} = 316,1 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,0007$$

$$w_k = 0,22 \text{ mm} \leq w_{max}$$

→ ehto toteutuu!



KULMATUKIMUURIN LASKENTASOVELLUS
GEOTEKNINEN MITOITUS, EC7 (SFS-EN 1997-1)
RAKENTEELLINEN MITOITUS EC2 (SFS-EN 1992-1)

Tällä laskentasovelluksella voidaan mitoittaa kulmatukimuurirakenne Eurokoodien mukaan. Sovelluksen käyttö edellyttää betonirakenteiden ja pohjarakenteiden laskennan tuntemusta.

Lähtöarvot annetaan laskentasivuille harmaalla maalattuihin soluihin. Maalaamattomissa soluissa on vakioituja lähtöarvoja tai laskukaavoja. Käyttöasteet ja raudoitusmäärät ovat täyttöväriltään vihreät, jos kestävyys on riittävä, ja punaiset, jos kestävyys ei riitä.

HUOM! On myös joitain kertoimia, joita voi muuttaa. Ne kohdat on myös merkitty harmaalle pohjalle

MUUTOKSET		
PVM	SELITE	TEKIJÄ

Lähtötiedot:

Sivulla annetaan rakenteen tiedot:

- Rakenteen mitat ja kaltevuudet
- Pohja- ja täyttömaan ominaisuudet
- Betonin ominaisuudet
- Raudoituksen ominaisuudet
- Pintakuorma, kuorma- ja yhdistelykertoimet
- Materiaaliosavarmuuskertoimet

Geotekninen mitoitus:

Sivulla annetaan rakenteen tiedot:

- Tiivistimen aiheuttama viivakuorma
- Seinäkitkakulma sekä maan ja perustuksen välinen kitkakulma

Rakenteellinen mitoitus:

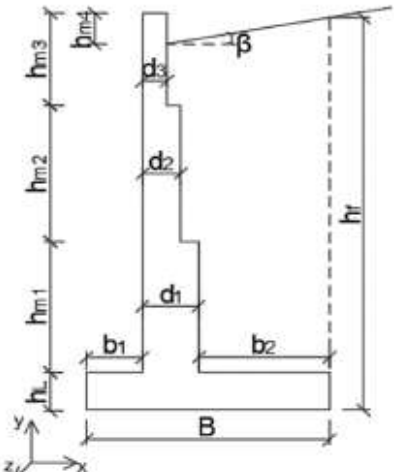
Sivulla annetaan rakenteen tiedot:

- Raudoitustangon halkaisija ja jakoväli
- Halkeilun raja-arvo ja kertoimet

Sovelluksen käyttäjän vastuu

Sovelluksen tekijä ei vastaa sovelluksen mahdollisista virheistä ja niistä aiheutuneista vahingoista sovelluksen käyttäjälle ja mahdolliselle kolmannelle osapuolelle. Sovelluksen käyttäjä käyttää sovellusta omalla vastuulla ja on itse vastuussa tulosten oikeellisuudesta.

Rakennuskohde	Työn nro	Sivu
		1
	Päiväys	Tekijä
Vastaava suunnittelija	Sisältö	
	KULMATUKIMUURIN LÄHTÖTIEDOT	
RAKENTEEN TIEDOT:		
Mitat		
tukimuurin pituus	L	1,0 m
pohjalaatan leveys	B	2,2 m
pohjalaatan etuosan leveys	b ₁	0,3 m
pohjalaatan takaosan leveys	b ₂	1,5 m
pystymuurin (alaosan) korkeus	h _{m1}	1,6 m
pystymuurin (keskiosan) korkeus	h _{m2}	1,4 m
pystymuurin (yläosan) korkeus	h _{m3}	1,4 m
pystym. maanpääl. osan korkeus	h _{m4}	0,6 m
pohjalaatan korkeus	h _L	0,4 m
kuvitellun pystyseinän korkeus	h _f	4,2 m
pystymuurin (alaosan) leveys	d ₁	0,4 m
pystymuurin (keskiosan) leveys	d ₂	0,3 m
pystymuurin (yläosan) leveys	d ₃	0,2 m
pystymuurin kaltevuus	θ	0°
maan pinnan kaltevuus	β	0°



Pohjamaan ominaisuudet		Täyttömaan ominaisuudet			
tilavuuspaino	Y ₁	19 kN/m ³	tilavuuspaino	Y ₂	18 kN/m ³
leikkauskestävyyskulma	φ' ₁	40°	leikkauskestävyyskulma	φ' ₂	35°
koheesio	c ₁	0 kN/m ²	koheesio	c ₂	0 kN/m ²
sallittu maanpaine	R _d	350 kN/m ²	ylikonsolidoitumissuhde	OCR	1,0
Betonin ominaisuudet		Betonin ominaisuudet			
toteutusluokka	C30/37	betonin lujuus	f _{ck}	30 MPa	
suunniteltu käyttöikä	50 vuotta	puristuslujuus	f _{cd}	17,0 MPa	
rasitusluokka	XC4	keskim. pur.luj. (28 vrk)	f _{cm}	38,0 MPa	
betonin tilavuuspaino	Y ₃	25 kN/m ³	vetolujuus	f _{ctm}	2,9 MPa
betonipeite yleensä	C _{nom}	35 mm	betonin kimmokerroin	E _{cm}	32,8 GPa
betonipeite pohjassa	C _{nom,p}	50 mm			
Raudituksen ominaisuudet		Raudituksen ominaisuudet			
teräksen myötölujuus	f _{yk}	500 MPa	teräksen kimmokerroin	E _s	200,0 GPa
teräksen laskentalujuus	f _{yd}	435 MPa			
Kuormat		Materiaaliosavarmuusluvut			
kuormakerroin	K _{F1}	1,0	betonin osavarmuusluku	γ _c	1,5
yhdistelykerroin	ψ ₂	0,2	teräksen osavarmuusluku	γ _s	1,15
muuttuva pintakuorma	Q _k	3,0 kN/m ²			
täyttömaan paino	G _{k,täyttö}	108,0 kN/m			
kaltevan täytön paino	G _{k,kalteva}	0,0 kN/m			
muurin oma paino	G _{k,muuri}	33,5 kN/m			
pohjalaatan oma paino	G _{k,laatta}	22,0 kN/m			

Rakennuskohde	Työn nro	Sivu	
		1	
	Päiväys	Tekijä	
Vastaava suunnittelija	Sisältö		
	KULMATUKIMUURIN GEOTEKNINEN MITOITUS (EC7)		
KÄYTTÖASTEET:	DA2*	DA2	Kaatumiskestävyys
Kantokestävyys	59,3 %	92,6 %	78,2 %
Liukumiskestävyys	41,6 %	62,4 %	
Tiivistyksen aiheuttama maanpaine:			
tiivistimen aiheuttama viivakuorma	q_t	1 kN/m	
tiivistyksen aiheuttama maanpaine	P_t	12,0 kN/m ²	
Maanpainekuormat			
		GEO	EQU
pohjamaan leik.kest.kulman mitoitusarvo	$\varphi'_{d,1}$	40 °	
täytön leik.kest.kulman mitoitusarvo	$\varphi'_{d,2}$	35 °	$\varphi'_{d,2}$ 29 °
seinäkitkakulma	δ	26 °	δ 22 °
maan ja perustuksen välinen kitkakulma	δ_k	40 °	
Lepopaine:			
lepopainekerroin	K_0	0,43	K_0 0,51
tiivistyksen vaikutuksen syvyys	z_0	0,28 m	z_0 0,34 m
tiiv. aiheut. maanpaineen leikkauskohta	h_{k0}	1,56 m	h_{k0} 1,30 m
lepopaine täytöstä	$P_{0,G,k}$	32,2 kN/m ²	$P_{0,G,k}$ 38,7 kN/m ²
lepopaine pintakuormasta	$P_{0,Q,k}$	1,3 kN/m ²	$P_{0,Q,k}$ 1,5 kN/m ²
Aktiivinen maanpaine:			
maanpinnan reunaehtojen määrittämä kulma	m_t	62,5 °	m_t 59,6 °
seinämän reunaehtojen määrittämä kulma	m_w	50,4 °	m_w 45,7 °
tangenttikiertymä	v	0,21 rad	v 0,24 rad
normaalivoiman huomioiva kerroin	K_{an}	0,23	K_{an} 0,29
pystykuormituksen huomioiva kerroin	K_{aq}	0,23	K_{aq} 0,29
koheesiohuomioiva kerroin	K_{ac}	1,11	K_{ac} 1,27
maan painon huomioiva kerroin	K_{ay}	0,23	K_{ay} 0,29
tiivistyksen vaikutuksen syvyys	z_a	0,13 m	z_a 0,18 m
tiiv. aiheut. maanpaineen leikkauskohta	h_{ka}	3,30 m	h_{ka} 2,47 m
aktiivipaine täytöstä	$P_{a,G,k}$	17,0 kN/m ²	$P_{a,G,k}$ 22,0 kN/m ²
aktiivipaine pintakuormasta	$P_{a,Q,k}$	0,7 kN/m ²	$P_{a,Q,k}$ 0,9 kN/m ²
Mitoitus tehdään maanpaineella:	Aktiivipaine		

Kuormitustapaukset (KT), epäkeskisyyden ja teholliset pinta-alat				Sivu
DA2* menetelmä A1+M1+R2				2
KT1 $V_{\max}+H_{\max}$ (6.10b)		KT2 $V_{\max}+H_{\max}$ (6.10a)		
pystykuorma	V_{k1}	168,6 kN/m	V_{k2}	163,5 kN/m
	V_{d1}	220,7 kN/m	V_{d2}	220,7 kN/m
vaakakuorma	H_{k1}	54,7 kN/m	H_{k2}	51,9 kN/m
	H_{d1}	70,0 kN/m	H_{d2}	70,0 kN/m
momentti	$M(G_{k,täyttö})$	33,3 kNm/m	$M(G_{k,täyttö})$	33,3 kNm/m
	$M(G_{k,kalteva})$	0,0 kNm/m	$M(G_{k,kalteva})$	0,0 kNm/m
	$M(G_{k,muuri})$	21,3 kNm/m	$M(G_{k,muuri})$	21,3 kNm/m
	$M(Q_k)$	1,3 kNm/m	$M(Q_k)$	- kNm/m
	$M(P_{a,G,k})$	103,2 kNm/m	$M(P_{a,G,k})$	103,2 kNm/m
	$M(P_{a,Q,k})$	6,0 kNm/m	$M(P_{a,Q,k})$	- kNm/m
	M_{k1}	95,8 kNm/m	M_{k2}	91,2 kNm/m
epäkeskisyyden	e_1	0,57 m	e_2	0,56 m
max epäkeskisyyden	$B/3$	0,73 $> e_1$	$B/3$	0,73 $> e_2$
tehollinen leveys	B'	1,1 m	B'	1,1 m
tehollinen pituus	L'	1,0 m	L'	1,0 m
tehollinen pinta-ala	A'	1,1 m ²	A'	1,1 m ²
DA2 menetelmä A1+M1+R2				
KT1 $V_{\max}+H_{\max}$ (6.10b)		KT2 $V_{\max}+H_{\max}$ (6.10a)		
pystykuorma	V_{d1}	195,7 kN/m	V_{d2}	220,7 kN/m
vaakakuorma	H_{d1}	63,9 kN/m	H_{d2}	70,0 kN/m
momentti	$M(G_{d,täyttö})$	38,3 kNm/m	$M(G_{d,täyttö})$	45,0 kNm/m
	$M(G_{d,kalteva})$	0,0 kNm/m	$M(G_{d,kalteva})$	0,0 kNm/m
	$M(G_{d,muuri})$	24,5 kNm/m	$M(G_{d,muuri})$	28,8 kNm/m
	$M(Q_d)$	1,9 kNm/m	$M(Q_d)$	- kNm/m
	$M(P_{a,G,d})$	118,6 kNm/m	$M(P_{a,G,d})$	139,3 kNm/m
	$M(P_{a,Q,d})$	8,9 kNm/m	$M(P_{a,Q,d})$	- kNm/m
	M_{d1}	111,9 kNm/m	M_{d2}	123,1 kNm/m
epäkeskisyyden	e_1	0,57 m	e_2	0,56 m
tehollinen leveys	B'	1,1 m	B'	1,1 m
tehollinen pituus	L'	1,0 m	L'	1,0 m
tehollinen pinta-ala	A'	1,1 m ²	A'	1,1 m ²
KT3 $V_{\min}+H_{\max}$ (6.10b)		KT4 $V_{\min}+H_{\max}$ (6.10a)		
pystykuorma	V_{d3}	147,2 kN/m	V_{d4}	147,2 kN/m
vaakakuorma	H_{d3}	63,9 kN/m	H_{d4}	70,0 kN/m
momentti	$M(G_{d,täyttö})$	30,0 kNm/m	$M(G_{d,täyttö})$	30,0 kNm/m
	$M(G_{d,kalteva})$	0,0 kNm/m	$M(G_{d,kalteva})$	0,0 kNm/m
	$M(G_{d,muuri})$	19,2 kNm/m	$M(G_{d,muuri})$	19,2 kNm/m
	$M(Q_d)$	- kNm/m	$M(Q_d)$	- kNm/m
	$M(P_{a,G,d})$	118,6 kNm/m	$M(P_{a,G,d})$	139,3 kNm/m
	$M(P_{a,Q,d})$	8,9 kNm/m	$M(P_{a,Q,d})$	- kNm/m
	M_{d3}	116,8 kNm/m	M_{d4}	128,5 kNm/m

epäkeskisyyys	e_3	0,79	m	e_4	0,87	m	Sivu
tehollinen leveys	B'	0,6	m	B'	0,5	m	3
tehollinen pituus	L'	1,0	m	L'	1,0	m	
tehollinen pinta-ala	A'	0,6	m ²	A'	0,45	m ²	
Kantokestävyys GEO							
Avoimet olosuhteet:							
tehokas koheesio	c'	0,0	kN/m ²				
jännitys	q'	79,8	kN/m ²				
	N_q	64,2					
kantavuuskertoimet	N_c	75,3					
	N_y	106,1					
	b_q	1,0					
kaltevuuskertoimet	b_c	1,0					
	b_y	1,0					
DA2* menetelmä A1+M2+R2							
KT1 $V_{max}+H_{max}$ (6.10b)				KT2 $V_{max}+H_{max}$ (6.10a)			
	s_q	1,68		s_q	1,70		
muotokertoimet	s_c	1,69		s_c	1,71		
	s_y	0,68		s_y	0,67		
kertoimet vaaka-	i_q	0,56		i_q	0,57		
kuorman H	i_c	0,55		i_c	0,56		
aiheuttamalle kuor-	i_y	0,38		i_y	0,39		
man kaltevuudelle	m_B	1,48		m_B	1,48		
eksponenttitekijä	R_k/A'	5091,7	kN/m ²	R_k/A'	5230,2	kN/m ²	
kantokestävyuden ominaisarvo	R_d	3492,1	kN	R_d	3661,1	kN	
kantokestävyuden mitoitusarvo	V_d/R_d	6,3	%	V_d/R_d	6,0	%	
käyttöaste							
DA2 menetelmä A1+M2+R2							
KT1 $V_{max}+H_{max}$ (6.10b)				KT2 $V_{max}+H_{max}$ (6.10a)			
	s_q	1,68		s_q	1,70		
muotokertoimet	s_c	1,69		s_c	1,71		
	s_y	0,68		s_y	0,67		
kertoimet vaaka-	i_q	0,56		i_q	0,57		
kuorman H	i_c	0,55		i_c	0,56		
aiheuttamalle kuor-	i_y	0,37		i_y	0,39		
man kaltevuudelle	m_B	1,49		m_B	1,48		
eksponenttitekijä	R_k/A'	5051,5	kN/m ²	R_k/A'	5230,2	kN/m ²	
kantokestävyuden ominaisarvo	R_d	3443,7	kN	R_d	3661,1	kN	
kantokestävyuden mitoitusarvo	V_d/R_d	5,7	%	V_d/R_d	6,0	%	
käyttöaste							

KT3 $V_{min}+H_{max}$ (6.10b)			KT4 $V_{min}+H_{max}$ (6.10a)			Sivu
	s_q	1,39		s_q	1,29	4
muotokertoimet	s_c	1,40		s_c	1,30	
	s_y	0,82		s_y	0,86	
kertoimet vaaka-	i_q	0,40		i_q	0,34	
kuorman H	i_c	0,39		i_c	0,33	
aiheuttamalle kuor-	i_y	0,22		i_y	0,18	
man kaltevuudelle	m_B	1,62		m_B	1,69	
eksponenttitekijä	R_k/A'	2950,6 kN/m ²		R_k/A'	2294,0 kN/m ²	
kantokestävyyden ominaisarvo	R_d	1166,6 kN		R_d	671,9 kN	
kantokestävyyden mitoitusarvo	V_d/R_d	12,6 %		V_d/R_d	21,9 %	
käyttöaste						
Liukumiskestävyys GEO						
Avoimet olosuhteet:						
DA2* menetelmä A1+M2+R2						
KT1 $V_{max}+H_{max}$ (6.10b)			KT2 $V_{max}+H_{max}$ (6.10a)			
liukumiskestävyyden mitoitusarvo	R_d	168,4 kN		R_d	168,4 kN	
käyttöaste	H_d/R_d	41,6 %		H_d/R_d	41,6 %	
DA2 menetelmä A1+M2+R2						
KT1 $V_{max}+H_{max}$ (6.10b)			KT2 $V_{max}+H_{max}$ (6.10a)			
liukumiskestävyyden mitoitusarvo	R_d	149,3 kN		R_d	168,4 kN	
käyttöaste	H_d/R_d	42,8 %		H_d/R_d	41,6 %	
KT3 $V_{min}+H_{max}$ (6.10b)			KT4 $V_{min}+H_{max}$ (6.10a)			
liukumiskestävyyden mitoitusarvo	R_d	112,2 kN		R_d	112,2 kN	
käyttöaste	H_d/R_d	56,9 %		H_d/R_d	62,4 %	
Kaatuminen EQU						
Vakauttavat momentit:						
täytön painosta aiheutuva momentti	$M_{täyttö}$	136,9 kNm/m				
kaltevasta täytöstä aiheutuva momentti	$M_{kalteva}$	0,0				
muurin painosta aiheutuva momentti	M_{muuri}	14,0				
laatan painosta aiheutuva momentti	M_{laatta}	21,8 kNm/m				
vakauttavat momentit yhteensä	$M_{Ed,stb}$	172,7 kNm/m				
Kaatavat momentit:						
täytön maanpaineen momentti	$M_{Pa,G,d}$	123,5 kNm/m				
pintakuorman maanpaineen momentti	$M_{Pa,Q,d}$	11,5 kNm/m				
kaatavat momentit yhteensä	$M_{Ed,dst}$	135,0 kNm/m				
Käyttöaste	$M_{Ed,dst}/M_{Ed,stb}$	78,2 %				

Rakennuskohde	Työn nro		Sivu
			1
	Päiväys	Tekijä	
Vastaava suunnittelija	Sisältö		
	KULMATUKIMUURIN RAKENTEELLINEN MITOITUS (EC2)		
KÄYTTÖASTEET JA TOTEUTUNUT RAUDOITUS			
Pystymuurin alaosa:			
raudoitustangon halkaisija	ϕ	12 mm	ϕ 10 mm
jakoväli	k	100 mm	k 300 mm
raudoitusala	$A_{s,m,y,ala}$	1131,0 mm ²	$A_{s,m,z,ala}$ 261,8 mm ²
halkeilu	w_k / w_{max}	86 %	
leikkauskestävyys	$V_{Ed} / V_{Rd,c}$	54 %	
Pystymuurin keskiosa:			
raudoitustangon halkaisija	ϕ	10 mm	ϕ 8 mm
jakoväli	k	200 mm	k 400 mm
raudoitusala	$A_{s,m,y,keski}$	392,7 mm ²	$A_{s,m,z,keski}$ 125,7 mm ²
halkeilu	w_k / w_{max}	0 %	
leikkauskestävyys	$V_{Ed} / V_{Rd,c}$	28 %	
Pystymuurin yläosa:			
raudoitustangon halkaisija	ϕ	8 mm	ϕ 8 mm
jakoväli	k	200 mm	k 400 mm
raudoitusala	$A_{s,m,y,yla}$	251,3 mm ²	$A_{s,m,z,yla}$ 125,7 mm ²
halkeilu	w_k / w_{max}	33 %	
leikkauskestävyys	$V_{Ed} / V_{Rd,c}$	16 %	
Pohjalaatan alapinta			
raudoitustangon halkaisija	ϕ	12 mm	ϕ 8 mm
jakoväli	k	200 mm	k 300 mm
raudoitusala	$A_{s,l,x,ala}$	565,5 mm ²	$A_{s,l,z,ala}$ 167,6 mm ²
halkeilu	w_k / w_{max}	5 %	
Pohjalaatan yläpinta			
raudoitustangon halkaisija	ϕ	12 mm	ϕ 10 mm
jakoväli	k	100 mm	k 300 mm
raudoitusala	$A_{s,l,x,yla}$	1131,0 mm ²	$A_{s,l,z,yla}$ 261,8 mm ²
halkeilu	w_k / w_{max}	73 %	
pohjalaatan leikkauskestävyys	$V_{Ed} / V_{Rd,c}$	71 %	
Maanpaineuormat, STR:			
leikkauskestävyysskulman mitoitusarvo	$\phi'_{d,2}$	35 °	
lepopainekerroin	K_0	0,43	
tiivistyksen vaikutuksen syvyys	z_0	0,28 m	
tiivistyksen aiheuttaman maanpaineen leikkauskohta	h_{k0}	1,56 m	
lepopaine täytöstä	$P_{0,G,k}$	29,2 kN/m ²	
lepopaine pintakuormasta	$P_{0,Q,k}$	1,3 kN/m ²	

TAIVUTUSKESTÄVYYS				Sivu
				2
Pystymuuri				
KT1 (6.10b)		KT2 (6.10a)		
mitoitettava leikkausvoima	$V_{d1,ala}$	79,8 kN/m	$V_{d2,ala}$	85,2 kN/m
	$V_{d1,keski}$	35,0 kN/m	$V_{d2,keski}$	35,4 kN/m
	$V_{d1,ylä}$	13,4 kN/m	$V_{d2,ylä}$	13,7 kN/m
mitoitusmomentti KRT	$M_{k1,ala}$	96,5 kNm/m	$M_{k2,ala}$	94,6 kNm/m
	$M_{k1,keski}$	26,4 kNm/m	$M_{k2,keski}$	25,8 kNm/m
	$M_{k1,ylä}$	2,7 kNm/m	$M_{k2,ylä}$	2,6 kNm/m
mitoitusmomentti MRT	$M_{d1,ala}$	122,7 kNm/m	$M_{d2,ala}$	127,8 kNm/m
	$M_{d1,keski}$	34,3 kNm/m	$M_{d2,keski}$	34,8 kNm/m
	$M_{d1,ylä}$	3,6 kNm/m	$M_{d2,ylä}$	3,0 kNm/m
Pohjalaatan alapinta				
KT1 (6.10b)		KT2 (6.10a)		
reduoitu leikkausv.	$V_{d,red,1}$	46,2 kN/m	$V_{d,red,2}$	45,2 kN/m
	B'	1,1 m	B'	1,1 m
pohjapaine	$P_{Ed,red,1}$	43,4 kPa	$P_{Ed,red,2}$	41,7 kPa
	a_1	0,3 m	a_1	0,3 m
	a_2	0,4 m	a_2	0,4 m
mitoitusmomentti KRT	M_{k1}	2,1 kNm	M_{k2}	2,3 kNm
mitoitusmomentti MRT	M_{d1}	2,9 kNm	M_{d2}	3,1 kNm
Pohjalaatan yläpinta				
KT1 (6.10b)		KT2 (6.10a)		
	P_{Ed}	87,9 kPa	P_{Ed}	97,2 kPa
mitoitusmomentti KRT	M_{k1}	81,8 kNm	M_{k2}	81,0 kNm
mitoitusmomentti MRT	M_{d1}	98,9 kNm	M_{d2}	109,4 kNm
VAADITTAVA RAUDOITUS				
poikkileikkauksen leveys	b	1000 mm		
Pystymuurin alaosa				
poikkileikkauksen tehollinen korkeus	d	358,4 mm		
suhteellinen momentti	μ	0,0585	$< \mu_{bd}$	0,372
puristusvyöh. suhteellinen korkeus	β	0,0603	$< \beta_{bd}$	0,493
mekaaninen raudoitussuhde	ω	0,0603		
vaadittu poikittaisraudoitusala	$A_{s,m,y,vaad}$	845,4 mm ²		
vähimmäisraudoitusala	$A_{s,m,y,min}$	540,5 mm ²		
Pystymuurin keskiosa				
poikkileikkauksen tehollinen korkeus	d	259,5 mm		
suhteellinen momentti	μ	0,0304	$< \mu_{bd}$	0,372
puristusvyöh. suhteellinen korkeus	β	0,0309	$< \beta_{bd}$	0,493
mekaaninen raudoitussuhde	ω	0,0309		
vaadittu raudoitusala	$A_{s,m,y,vaad}$	313,3 mm ²		
vähimmäisraudoitusala	$A_{s,m,y,min}$	391,3 mm ²		

Pystymuurin yläosa					Sivu
poikkileikkauksen tehollinen korkeus	d	160,6	mm		3
suhteellinen momentti	μ	0,0083		$< \mu_{bd}$	0,372
puristusvyöh. suhteellinen korkeus	β	0,0084		$< \beta_{bd}$	0,493
mekaaninen raudoitussuhde	ω	0,0084			
vaadittu raudoitusala	$A_{s,m,y,vaad}$	52,4	mm ²		
vähimmäisraudoitusala	$A_{s,m,y,min}$	242,2	mm ²		
Pohjalaatan alapinta					
poikkileikkauksen tehollinen korkeus	d	343,4	mm		
suhteellinen momentti	μ	0,0015		$< \mu_{bd}$	0,372
puristusvyöh. suhteellinen korkeus	β	0,0015		$< \beta_{bd}$	0,493
mekaaninen raudoitussuhde	ω	0,0015			
vaadittu poikittaisraudoitusala	$A_{s,l,x,vaad}$	20,7	mm ²		
vähimmäisraudoitusala	$A_{s,l,x,min}$	517,8	mm ²		
Pohjalaatan yläpinta					
poikkileikkauksen tehollinen korkeus	d	358,4	mm		
suhteellinen momentti	μ	0,0501		$< \mu_{bd}$	0,372
puristusvyöh. suhteellinen korkeus	β	0,0514		$< \beta_{bd}$	0,493
mekaaninen raudoitussuhde	ω	0,0514			
vaadittu poikittaisraudoitusala	$A_{s,l,x,vaad}$	720,3	mm ²		
vähimmäisraudoitusala	$A_{s,l,x,min}$	540,5	mm ²		
LEIKKAUSKESTÄVYYS, LEIKKAUSRAUDOITTAMATON RAKENNE					
kansallinen suure	$c_{Rd,c}$	0,12			
Pystymuurin alaosa					
tehollisen korkeuden huomioiva suure	k	1,75			
kansallinen suure	v_{min}	0,44			
vetorausituksen huomioiva suure	ρ_l	0,0032			
leikkauskestävyys	$V_{Rd,c}$	158,9	kN		
mitoitettava leikkausvoima	V_{Ed}	85,2	kN		
Pystymuurin keskiosa					
tehollisen korkeuden huomioiva suure	k	1,88			
kansallinen suure	v_{min}	0,49			
vetorausituksen huomioiva suure	ρ_l	0,0015			
leikkauskestävyys	$V_{Rd,c}$	128,0	kN		
mitoitettava leikkausvoima	V_{Ed}	35,4	kN		
Pystymuurin yläosa					
tehollisen korkeuden huomioiva suure	k	2,00			
kansallinen suure	v_{min}	0,54			
vetorausituksen huomioiva suure	ρ_l	0,0016			
leikkauskestävyys	$V_{Rd,c}$	87,1	kN		
mitoitettava leikkausvoima	V_{Ed}	13,7	kN		
Pohjalaatta					
tehollisen korkeuden huomioiva suure	k	1,76			
kansallinen suure	v_{min}	0,45			
vetorausituksen huomioiva suure	ρ_l	0,0033			
leikkauskestävyys	$V_{Rd,c}$	155,9	kN		
mitoitettava leikkausvoima	V_{Ed}	111,0	kN		

HALKEILUN RAJOITTAMINEN			Sivu
halkeilun raja-arvo	w_{max}	0,3 mm	4
tart. ominaisuudet huom. kerroin	k_1	0,8	
venymäjakauman huom. kerroin	k_2	0,5	
kansallinen kerroin	k_3	3,4	
kansallinen kerroin	k_4	0,425	
kuorman vaik. ajasta riip. kerroin	k_t	0,4	
betonin vetolujuuden keskiarvo	$f_{ct,eff}$	2,9 MPa	
kimmokertoimien suhde	α_e	6,1	
Pystymuurin alaosa			
raudoitussuhde	ρ	0,0032	
neutraaliakselin korkeus	x	63,7 mm	
sisäinen momenttivarsi	z	337,2 mm	
vetoraidoituksessa vaik. jännitys	σ_s	253 MPa	
tehollinen korkeus	$h_{c,eff}$	104,0 mm	
geometrinen raudoitussuhde	$\rho_{p,eff}$	0,011	
suurin halkeamaväli	$s_{r,max}$	340,6 mm	
venymien välinen erotus	$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$	0,0008	
halkeamaleveys	w_k	0,26 mm	
Pystymuurin keskiosa			
raudoitussuhde	ρ	0,0015	
neutraaliakselin korkeus	x	32,9 mm	
sisäinen momenttivarsi	z	248,5 mm	
vetoraidoituksessa vaik. jännitys	σ_s	270 MPa	
tehollinen korkeus	$h_{c,eff}$	89,0 mm	
geometrinen raudoitussuhde	$\rho_{p,eff}$	0,004	
suurin halkeamaväli	$s_{r,max}$	531,6 mm	
venymien välinen erotus	$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$	0,0000	
halkeamaleveys	w_k	0,00 mm	
Pohjalaatan alapinta			
raudoitussuhde	ρ	0,0016	
neutraaliakselin korkeus	x	45,3 mm	
sisäinen momenttivarsi	z	328,3 mm	
vetoraidoituksessa vaik. jännitys	σ_s	12,3 MPa	
tehollinen korkeus	$h_{c,eff}$	118,2 mm	
geometrinen raudoitussuhde	$\rho_{p,eff}$	0,005	
suurin halkeamaväli	$s_{r,max}$	444,1 mm	
venymien välinen erotus	$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$	0,0000	
halkeamaleveys	w_k	0,02 mm	
Pystymuurin yläosa			
	ρ	0,0016	
	x	20,7 mm	
	z	153,7 mm	
	σ_s	70 MPa	
	$h_{c,eff}$	59,8 mm	
	$\rho_{p,eff}$	0,004	
	$s_{r,max}$	469,6 mm	
	$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$	0,0002	
	w_k	0,10 mm	
Pohjalaatan yläpinta			
	ρ	0,0032	
	x	63,7 mm	
	z	337,2 mm	
	σ_s	214,4 MPa	
	$h_{c,eff}$	104,0 mm	
	$\rho_{p,eff}$	0,011	
	$s_{r,max}$	316,1 mm	
	$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$	0,0007	
	w_k	0,22 mm	