

Pekka Miettinen

KUMILEVYLAAKERIT

Rakennustekniikan koulutusohjelma

2016

KUMILEVYLAAKERIT

Miettinen, Pekka
Satakunnan Ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Kesäkuu 2016
Ohjaaja: Sandberg, Rauno
Sivumäärä: 54
Liitteitä: 1

Asiasanat: kumi, polymeeri, rakennesuunnittelu, kiertymä

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin ja tutustuttiin kumilevylaakereiden mitoitukseen, sekä toimintaan rakenteen osana. Opinnäytetyön aikana käytiin läpi eri mitoitusohjeita kumilevylaakereille, joiden pohjalta valittiin kuormitettavuus vertailussa sekä käytännön tapauksen mitoituksessa käytettäväksi ohjeistukseksi Matti V. Leskelän raportti RTL0105 kumilevylaakereiden mitoitus. Tämä ohje on kansallisena ohjeena tällä hetkellä Suomessa käytössä, kun kumilevylaakereita mitoitetaan talonrakentamisen sovelluksiin.

Opinnäytetyössä keskityttiin yksikerroslaakereihin jotka ovat pääasiallisesti käytössä talonrakentamisen sovelluksissa. Tutkimuksessa perehdyttiin laakereiden laadunvarmistukseen, kuormitettavuuteen vaikuttaviin tekijöihin, sekä kahteen ongelmaa aiheuttaneeseen kohteeseen. Käytännön mitoitusprosessi tuli myös tutuksi opinnäytetyön aikana liikerakennuksen elementtisuunnittelun yhteydessä, jonka liitoksissa olevat kumilevylaakerit mitoitettiin kuormitettavuus laskelmien yhteydessä.

Tutkimuksen aikana vahvistui käsitys siitä, jotta kumilevylaakereiden mitoitus olisi mahdollisimman optimaalista suunniteltavaan kohteeseen pitäisi kumin materiaaliominaisuudet olla suunnittelijalla tarkkaan tiedossa. Kovuuden ja materiaaliseoksen vaihtelu valmistajien ilmoittamalla toleranssilla aiheuttaa kuormitettavuudessa sekä suoraan, että liukumoduulin kautta suurta hajontaa. Tämä johtaa helposti siihen, että kumilevylaakereiden mitoituksessa suunniteltava rakenneosaa on joko ali- tai ylimitoitettu.

Opinnäytetyön keskeiseksi lopputulemaksi saatiin, että kumilevylaakereiden suunnittelussa kokonaisvaltainen ajattelu sekä materiaalin ominaisuuksien, että liittyvien rakenteiden osalta on tärkeää onnistuneen lopputuloksen kannalta.

LAMINATED RUBBER BEARINGS

Miettinen, Pekka

Satakunnan Ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in construction engineering

June 2016

Supervisor: Sandberg, Rauno

Number of pages: 54

Appendices: 1

Keywords: rubber, polymer, structural design, torsio

The purpose of this thesis was to investigate and become acquainted with design of the laminated rubber bearings and their function as part of the structure. During the thesis, various Design Guidances for laminated rubber bearings was gone through. Based on this information, guidance used in dimensioning of load capacity of comparison and practical examples, was selected to be Matti V. Leskelä's report RTL0105 Laminated rubber bearings design. This guide is a national guideline currently in use in Finland, when laminated rubber bearing design is used for construction engineering applications.

This study was to be focused on one layer bearings which are mainly used in housing construction applications. In this study was familiarized with bearings quality assurance, factors affecting the load capacity and two problem-causing structures. Also the practical design process became familiar during the thesis when designing precast units for commercial buildings, by dimensioning the laminated rubber bearings in connections along with load capacity calculations.

During the study, the perception of that the design of the laminated rubber bearing to be as optimum to a structure designed as possible, the material features of the rubber should be precise known by the designer, was confirmed. Variation in the material properties of the rubber causes considerable dispersion in load capacity, both directly and through the modulus of rigidity. This can easily lead to the fact that the planned design of the bearing component is either over- or undersized.

The focal result of this thesis shows that when designing the laminated rubber bearings, comprehensive thinking, with regard to the properties of the material and attached structures, are very important relative to a successful end result.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	KUMIN MATERIAALIOMINAISUUDET	8
2.1	Kumin ominaisuudet	8
2.2	Kumilaadut	8
2.2.1	Synteettiset kumilaadut	9
2.2.2	Luonnonkumi	9
2.2.3	Kloropreenikumi	10
2.3	Kumituotteen raaka-aineet.....	10
2.3.1	Polymeerit	10
2.3.2	Seosaineet.....	10
2.3.3	Lisäaineet	11
2.4	Kumituotteen valmistus.....	11
2.5	Lujuus ja kestävyys	12
3	KUMILEVYLAAKEREIDEN LAADUNVARMISTUS.....	13
3.1	Yleisesti	13
3.2	Valmistuksen sekä valmiin tuotteen valvonta	15
3.2.1	Tyyppitestaus:	15
3.2.2	Rutiinitestaus:.....	16
3.2.3	Tarkastustestaus:	17
3.2.4	Poikkeavuudet:	17
3.3	Testausmenetelmät	17
3.3.1	Liukumoduuli.....	17
3.3.2	Leikkaustartunta	18
3.3.3	Puristustestausmenetelmä	19
3.3.4	Kovuuden mittaus.....	19
4	LAAKEREIDEN AIHEUTTAMIA ONGELMIA	20
4.1	Kumilevylaakereiden pullistuma	20
4.2	Teräsbetonipilarin epäonnistunut korjaustyö.....	22
5	RAKENNEMALLI	24
5.1	Yleisesti	24
5.2	Laakeria rasittavat kuormitukset.....	25
5.2.1	Pystysuuntaiset kuormitukset.....	25
5.2.2	Vaakasuuntaiset kuormitukset.....	26
5.3	Muodonmuutokset.....	27
5.4	Liittyvät rakenteet ja niiden vaatimukset	30
5.5	Kiertymä	37

6	KUMILEVYLAAKERIN MITOITTAMINEN	39
6.1	Yleisesti	39
6.2	Erilaiset mitoitusohjeet	39
6.3	Raportti RTL0105 ja BY210 mukainen mitoitus.....	40
	6.3.1 Laskennassa esiintyviä termejä:	43
6.4	Liittyvät rakenteet	44
6.5	Kiertymän vaikutus kuormitettavuuteen	44
6.6	Kumin kovuuden vaikutus kuormitettavuuteen	46
6.7	Muotoluvun vaikutus laakerin kuormitettavuuteen	48
7	YHTEENVETO	52
	LÄHTEET	54
	LIITTEET	

TYÖSSÄ ESIINTYVIÄ TERMEJÄ JA LYHENTEITÄ

NR	Luonnonkumi
CR	Kloropreenikumi eli neopren-kumi
G	Liukumoduuli
S	Muotokerroin
RTL0105	Matti V. Leskelän mitoitusohje
EN 1337-3:2005	Kumilevylaakereita käsittelevä standardi
BY210	Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja
Rad	Kiertymän arvo radiaaneina
°ShoreA	Laakereiden kovuus määritelmä
C_{nom}	Betonin suojaetäisyys
Kiertymä maan	Pilarin ja palkin välinen kulma, joka on suhteessa taipu-
Taipuma	Palkissa kuormituksesta aiheutuva muutos

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö sai alkunsa työnantajani A-Insinöörit Suunnittelu Oy:n tarpeesta saada lisätietoa kumilevylaakereiden toiminnasta, sekä mitoittamisesta. Työ toteutetaan kehitysprojektina, jonka lopullisena tarkoituksena on työstää kumilevylaakereiden laskentapohja A-Insinöörit Suunnittelu Oy:n suunnittelijoiden käyttöön. Projektiryhmään kuuluu myös diplomityötä tekevä Viljami Ojanperä.

Opinnäytetyö käsittelee kumilevylaakereiden toimintaa erilaisissa rakentamisen sovellutuksissa. Työssä perehdytään myös kumilevylaakereiden valmistukseen sekä niitä koskeviin laatuvaatimuksiin. Talonrakentamisessa käytettävät laakerit ovat yleensä yksikerroslaakereita ja erilaisissa infrarakenteissa teräksellä vahvistettuja monikerroslaakereita. Tässä työssä on tarkoitus keskittyä yleisemmin talonrakentamisessa käytettäviin yksikerroslaakereihin. Yleisesti havaitut ongelmat erilaisissa liitoksissa ovat kumilevylaakerien pullistumat sekä betonin reunavyöhykkeellä ilmenevät lohkeilut. Pullistumat syntyvät yleensä joko mitoituksessa tapahtuneista virheistä tai asennettavan laakerin materiaalin poiketessa suunnitellusta. Betoninpintojen lohkeilua saattaa aiheuttaa reunaetäisyyksien huomioimatta jättäminen mitoituksessa, sekä erikoiskovat laakerit.

2 KUMIN MATERIAALIOMINAISUUDET

Luonnossa esiintyvän kumin historian tiedetään alkavan jo 2500 eKr, jolloin käytettiin kasveista saatavaa kumimaista nestettä. 1700-luvulla kumin käyttö alkoi laajentua, jolloin siitä valmistettiin kenkiä ja pulloja, sekä sitä käytettiin erilaisten kankaiden pinnoittamiseen, jolloin niistä saatiin vettä hylkiviä. Kumin vulkanointi keksittiin vuonna 1839 Charles Goodyearin toimesta. Erilaiset synteettiset kumit tulivat markkinoille 1930-luvulla ja kehitys jatkuu edelleen. Suomessa etenkin kumiteollisuus Ry:n alaiset yritykset toimivat aktiivisesti kumin kehityksessä mukana. 1930-luvulla keksittiin myös laakereissa käytettävä kloropreenikumi, joka tunnetaan kauppanimellä Neoprene. Neoprene oli aluksi DuPontin tuotenimi, mutta se on edelleen käytetty yleistermi kloropreenikumi tuotteille. Yleisesti kumista puhuttaessa voidaan tarkoittaa kolmea eri asiaa: raakakumi (elastomeeri), kumisekoitus sekä valmis, vulkanoitu (silloitettu) kumituote. /4; 5/

2.1 Kumin ominaisuudet

Kumi on materiaalina joustavaa, venyvää sekä muodoltaan palautuvaa. Tärkein näistä ominaisuuksista on sen joustavuus eli elastisuus. Kumin suurta kimmoisuutta ei kuitenkaan pystytä kuvaamaan yleisellä elastisuusteorialla. Kumia voi venyttää jopa 1000% ja silti kumi palautuu lähes alkuperäiseen muotoonsa. Kumilla on myös hyvät värinäneristämisoiminaisuudet sen viskoosisuudesta johtuen. Kumilla on lisäksi hyvät kitkaominaisuudet, joita hyödynnetään monissa sovellutuksissa sekä rakentamisessa, että muualla tekniikan alalla. /4; 5; 7/

2.2 Kumilaadut

Erilaiset kumilaadut voidaan jakaa kahteen osaan, luonnonkumeihin NR (Natural Rubber) sekä synteettisiin kumeihin. Standardiin SFS-EN-1337-3 Rakennelaakerit sisältyvät kumilaadut ovat NR (Natural Rubber) sekä CR (Chloroprene Rubber). Luonnon-

kumi on peräisin kumipuun maitiaisnesteestä, joka vulkanoimalla muuttuu kimmoisaksi aineeksi, jota nimitetään kumiksi. Synteettinen kumi taas on teollinen tuote, jonka pääraaka-aineena käytetään öljyä.

Suurin osa erilaisista raakakumeista on lakritsamaisia kiinteäköjä nesteitä. Kumimassaan (polymeeri) sekoitetaan lisä- ja apuaineita sekä katalyytti joka käynnistää vulkanoitumis prosessin. Syntynyt seos lähtee vulkanoitumaan itsekseen. Prosessi nopeutuu, kun aine kuumennetaan, eli vulkanoidaan, valmiiksi tuotteeksi. /4; 5; 7/

2.2.1 Synteettiset kumilaadut

Synteettisiä kumilaatuja on lukuisia, joilla on kullakin omat erikoisominaisuutensa. Synteettisten kumilaatujen perustyyppjä ovat mm. styreenibutadieenikumit (SBR), butadieenikumit (BR), isopreenikumit (IR), butyylikumit (IIR), nitrilikumit (NBR, HNBR, XNBR), epikloorihydrinikumit (ECO), kloropreenikumit (CR), uretaanikumit (EU, AU), fluorikumit (FPM, FKM), silikonikumit (Q), klorosulfonoidut polyeteenikumit (CSM), eteenipropeenikumit (EPDM).

Näistä rakentamiseen liittyvissä laakereissa käytetään kloropreenikumia (CR) sekä eteenipropeenikumia (EPDM), joka tunnetaan nimellä ESZ-laakerit. Eteenipropeenikumi ei kuitenkaan sisälly standardiin SFS-EN-1337-3.

2.2.2 Luonnonkumi

Luonnonkumista (NR) valmistettuja esineitä ja tuotteita on käytetty eri tarkoituksiin satoja vuosia. Sen laaja käyttölämpötila-alue $-55...40 - +70...120$ °C tarjoaa laajasti mahdollisuuksia sen käytölle erilaisissa sovellutuksissa. Käyttölämpötilan vaihteluun vaikuttaa kumin ominaisuus kestää lyhytaikaisesti äärimmäisiä lämpötiloja, mutta kuitenkin pitkäaikaisesti käyttölämpötilojen tulee olla maltillisempia. Luonnonkumilla on suuri venyvyys ja hyvä kulutuksenkestävyys. Luonnonkumin vetolujuus vaihtelee 0-28 MPa välillä ja sen murtovenymä voi olla äärimmillään jopa 800%. Luonnokumin kestävyys hapettavia olosuhteita, öljyjä, sekä liuottimia vastaan on huono. /4; 5; 7/

2.2.3 Kloropreenikumi

Kloropreenikumi (CR) on vuonna 1930 keksitty synteettinen kumimateriaali. Kloropreenikumi syntyy polymerisoimalla 2-klooributadieenia emulsioprosessissa. CR oli ensimmäinen teolliseen massatuotantoon otettu synteettinen kumimateriaali. CR:n käyttölämpötila vaihtelee -20 - +120 °C välillä. CR kestää eläin- ja kasvipärisiä öljyjä hyvin, mutta kuitenkin vain tyydyttävästi alifaattisia ja nafteenisiä öljyjä. Sillä on myös hyvä sään sekä otsoninkestävyys. CR:n käyttökohteita ovat yleisesti tiivisteet, palkeet, kaapelien ja letkujen pintakumit, kuljetus- ja kiilahihnat, tärinäeristimet, sekä tasauslevyt. /4; 5; 7/

2.3 Kumituotteen raaka-aineet

2.3.1 Polymeerit

Polymeeri on kumituotteen pääraaka-aine. Kumituotteissa käytetyistä polymeereistä yleisin on luonnonkumi. Luonnonkumi kehittyy kumipuussa (*Hevea brasiliensis*) sekä muutamissa muissa kasveissa cis-1,4-polyisopreenin ja veden emulsiona joka tunnetaan lateksina. Tästä saadaan saostamalla luonnonkumi, raakakumi eli kautsu. Synteettisen kumin raakakumi valmistetaan polymeroimalla raaka-ainetta. /4; 5; 7/

2.3.2 Seosaineet

Seosaineita käytetään yleisesti suurina määrinä ja ne muokkaavatkin kumin mekaanisia ominaisuuksia voimakkaasti. Seosaineista tärkeimmät ovat täyteaineina käytettävät erilaiset mineraalit ja noki. Näillä pystytään säätelemään kumin jäykkyyttä, lujuutta, sekä hintaa. Näiden lisäksi muita seosaineita ovat öljymäiset pehmittimet, katkokuidut ja verkkoutusaineet. /4; 5; 7/

2.3.3 Lisäaineet

Lisäaineiden käyttö eroaa seosaineista siten, että niitä käytetään pieninä pitoisuuksina lisäämässä joitain tiettyjä kumin ominaisuuksia. Lisäaineiden avulla voidaan esimerkiksi parantaa ympäristöolosuhteiden kestävyyttä. Erilaiset lisäaineet jaetaan ryhmiin niiden ominaisuuksien perusteella seuraavasti: Kiihdyttimet, suoja-aineet, välittäjäaineet, sekoittumista edistävät, solustusaineet, sekä muut lisäaineet. /4; 5; 7/

2.4 Kumituotteen valmistus

Synteettisiä kumilaatuja valmistettaessa prosessi alkaa raakakumin valmistamisella. Raakakumi valmistetaan polymeroimalla alkuperäistä pieni-molekyylistä raakaainetta eli monomeeriä suurikokoiseksi molekyyliseksi eli polymeeriksi. Synteettisen ja luonnonkumin eroavaisuus ilmenee tässä vaiheessa prosessia, koska luonnonkumi kerätään kumipuusta valmiiksi polymeroituneessa muodossa. Luonnonkumin valmistuksen ensimmäinen vaihe on mastisointi, jossa sen molekyylit paloitetellaan pieniksi joko mekaanisesti tai hapettamalla, jotta seoksen valmistaminen tapahtuisi helpommin. Seuraavassa vaiheessa seokseen sekoitetaan erilaisia peptisoimisaineita, tällä estetään molekyyliketjuissa olevien katkenneiden päiden keskinäiset reaktiot. Molempiin erilaisiin kumilajeihin luonnonkumiin, sekä synteettisiin seostetaan seuraavaksi eri lisä-, täyte- ja vulkanointiaineet, jotta valmis kumisekoitus saadaan valmiiksi työstöä varten.

Vulkanoinnista puhuttaessa tarkoitetaan prosessia, jossa raakakumi saatetaan kemiallisen reaktion avulla muotoon, jota varsinaisesti kutsutaan kumiksi. Tässä muodossa kumi säilyttää eri ominaisuutensa laajalla lämpötila-alueella. Vulkanoinnissa kumin jäykkyys ja kovuus lisääntyvät huomattavasti. Vulkanoinnissa molekyyliketjut sitoutuvat ristisidoksilla kiinni toisiinsa. Tällöin syntyy ns. kertamuovityyppinen silloitettu rakenne. Tämän vaiheen jälkeen kumin uudelleenprosessointi tai sulattaminen ei ole enää mahdollista. /4; 5; 7/

2.5 Lujuus ja kestävyys

Kumilevylaakereiden suunnittelussa kumin tärkein tekijä on sen liukukerroin G . Kumin liukukerroin kumilevylaakereita suunniteltaessa määritellään Leskelän (2009) raportissa kovuuden funktiona, joka laskenta arvoltaan sopii alla olevan taulukon arvojen vaihteluväliin. Kumilevy laakereista puhuttaessa käytetään yleensä terminä sen kovuus määritelmää joka rakentamisen sovelluksissa vaihtelee yleensä Shore50 ja 70 välillä. Kumin kovuuden vaihtelu toleranssi laakereina käytettävässä kumissa on ± 5 jonka valmistajat ilmoittavat. Tämä johtaa käytännössä siihen, että kumilevy jonka kovuus nimellisesti on Shore60 saattaa todellisuudessa olla Shore55 tai 65. /1; 2/

Taulukko 1: Kumilevylaakereiden keskimääräisiä ominaisuuksia (Leskelä 2009)

Kumin kovuus h (Shore A)	50	60	70
Liukukerroin G 20 asteessa, MPa	0,6 .. 0,77	0,85 .. 1,1	1,2 .. 1,8
Pitkäaikainen painumalisä (25 vuotta), % hetkellisestä painumasta	25 %	35 %	45 %
kerroin $k_r(h)$ eri funktioissa	0,75	0,60	0,55

Kumilevylaakereina käytettävälle kumille on standardissa SFS-EN-1337-3 määritelty sekä fysikaalisten, että mekaanisten ominaisuuksien vaatimukset joille jokaiselle on standardissa määritelty testausmenetelmät. Standardissa SFS-EN-1337-3 määriteltyjä kumin lujuuteen ja kestävyteen liittyviä ominaisuuksia ovat: liukumoduuli, vetomurtolujuus, minimimurtovenymä, minimirepimislujuus, jäännöspuristuma, nopeutettu vanhentaminen (kovuus, vetomurtolujuus, murtovenymä) ja otsonikestävyys (venymä). Ominaisuuksien vaatimukset löytyvät alla olevasta taulukosta /1; 2/

Taulukko 2: Kumilevylaakereille asetettuja vaatimuksia (SFS-EN-1337-3)

Taulukko 1 Kumin fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet

Ominaisuudet	Vaatimukset			Testausmenetelmät
	0,7	0,9 ^a	1,15	
Liukumoduuli G (MPa)	0,7	0,9 ^a	1,15	
Vetomurtolujuus (MPa) Muotissa vulkanoitu testikappale Näytepala laakerista	≥ 16 ≥ 14	≥ 16 ≥ 14	≥ 16 ≥ 14	ISO 37 Tyyppi 2
Minimimurtovenymä (%) Muotissa vulkanoitu testikappale Näytepala laakerista	450 400	425 375	300 250	
Minimirepimislujuus (kN/m) CR NR	≥ 7 ≥ 5	≥ 10 ≥ 8	≥ 12 ≥ 10	ISO 34-1 Housu (Menetelmä A)
Jäännöspuristuma (%) 24 h, 70 °C	CR ≤ 15 NR ≤ 30			ISO 815 φ 29 x 12,5 mm Rajoitin: 9,38...25 %
Nopeutettu vanhentaminen (Maksimimuutos vanhentamattomasta arvosta) — Kovuus (IRHD) NR 7 d, 70 °C CR 3 d, 100 °C — Vetomurtolujuus (%) NR 7 d, 70 °C CR 3 d, 100 °C — Murtovenymä (%) NR 7 d, 70 °C CR 3 d, 100 °C	-5 +10 ±5 ±15 ±15 ±25 ±25			ISO 48 ISO 188
Otsoinkestävyys Venymä: 30 % – 96 h 40 °C ± 2 °C NR 25 pphm CR 100 pphm	Ei halkeamia			ISO 1431-1
^a ks. 4.3.1.1.				

3 KUMILEVYLAAKEREIDEN LAADUNVARMISTUS

3.1 Yleisesti

Kumilevylaakerin laadunvarmistus ja valmiin laakerin vastaavuus niitä koskevan standardin SFS-EN-1337-3 2005 asettamien vaatimusten todentamiseksi on suoritettava standardin kohdassa 8 määritellyt testit ja tarkastukset. Vaatimustenmukaisuuden arviointimenetelmät jotka standardissa määritellään pätevät myös ei-sarjatuotantona val-

mistettaviin laakereihin. Valmistajan omien, sisäisten laadunvalvonta määritelmien tulee olla testien ja tarkastusten osalta standardin liitteessä N määriteltyjen vaatimusten mukaisia. Valmistajan itse suorittaman sisäisen laadunvalvonnan tulee noudattaa standardin taulukoissa 7 ja 8 määriteltyjä ohjeita. Lisäksi raaka-aineiden ja komponenttien oikeellisuutta tulee valvoa tarkastustodistuksien avulla. /1/

Taulukko 3: Testaustiheys ja näytteiden lähde (SFS-EN-1337-3)

Taulukko 8 Raaka-aineiden ominaisuuksien testaustiheys ja näytteiden lähde testausta varten

ISO-viite	Nimike	Testin tyyppi	Tiheys Testien lukumäärä	Näytteenlähde	Havainto
ISO 37	Vetomurtolujuus	Tyypitestaus Rutiinitestaus	1 Seoksen jokainen erä	Valettu " "	Näytetyyppi II ^a
	Murtovenymä	Tyypitestaus	1	Laakerista	
ISO 34-1	Repäisylujuus	Tyypitestaus Rutiinitestaus	1 4/vuosi	Valettu " "	
ISO 815	Jäännöspuristuma	Tyypitestaus Rutiinitestaus	1 4/vuosi	Valettu " "	
ISO 188	Nopeutettu vanhentaminen	Tyypitestaus Rutiinitestaus	1 4/vuosi	Valettu " "	
ISO 1431-1	Otsonikestävyys	Tyypitestaus Rutiinitestaus	1 1/vuosi	Valettu " "	
<p>HUOM. 1 Erä on yksittäinen seos tai seosten sekoitus, mikäli niitä käytetään laakerin valmistamiseen.</p> <p>HUOM. 2 Rutiini- ja tyypitestit on suunniteltu varmistamaan, että enintään (900 x 900) mm:n laakerit valmistetaan tyydyttävästi. Isompien laakereiden kohdalla toimittajan ja ostajan tulee sopia minkä kokoista/kokoisia tulee testata ja millä testausmenetelmällä.</p> <p>^a Ks. taulukko 6</p>					

Standardissa SFS-EN 1337-3 on määritelty laakereiden käyttölämpötilaksi -25 °C...+50 °C, mutta voi olla myös hetkellisesti jopa +70 °C. Standardissa huomioidaan kuitenkin, että joillakin Pohjois-Euroopan alueella lämpötila voi olla alle -25 °C. Kylmissä olosuhteissa (jopa -40 °C) on rakenteen toimivuuden kannalta tärkeää, että kumilevylaakerin ominaisuudet ovat määriteltyjen mukaisia kyseisessä käyttölämpötilassa.

Taulukko 4: Näytetyypit (SFS-EN-1337-3)

Taulukko 7 Laakerin testaustiheys ja laakerin näytetyypit testausta varten

§-viite	Nimike	Testin tyyppi	Näytetyyppi (Ks. taulukko 6)	Tiheys
4.3.1	<u>Liukumuoduli</u>			
4.3.1.1	Normaalilämpötilassa	Tyypitestausta Rutiinitestausta	I-II-III ks. 8.2.3	1 ks. 8.2.3
4.3.1.2	Alhaisessa lämpötilassa	Tyypitestausta	I	1
4.3.1.4	Vanhentamisen jälkeen	Tyypitestausta	I-II-III	1
4.3.2	<u>Leikkaustartunta</u>			
4.3.2.1	Normaalilämpötilassa	Tyypitestausta Rutiinitestausta	I-II-III ks. 8.2.3	1 ks. 8.2.3
4.3.2.2	Vanhentamisen jälkeen	Tyypitestausta	I-II-III	1
4.3.3	<u>Puristusjäykkyys</u>			
		Tyypitestausta Rutiinitestausta	I-II-III ks. 8.2.3	1 ks. 8.2.3
4.3.4	<u>Toistuvasta kuormituksesta johtuva puristus</u>	Tyypitestausta	I	1
4.3.5	<u>Staattinen kiertymä</u>			
4.3.5.2	Epäkeskisyyssmenetelmä	Tyypitestausta	I-II-III	1 ^a ja/tai
4.3.5.3	Palautusmomentti	Tyypitestausta ^a	I	1 ^a
4.3.6	<u>Otsoninkestävyys</u>	Tyypitestausta	I	1 ^a
4.3.7	<u>PTFE:n/kumin leikkaustartunta (vain tyyppi D)</u>	Tyypitestausta	ks. liite M	1 ^a

^a Rakennesuunnittelijan määräyksestä

3.2 Valmistuksen sekä valmiin tuotteen valvonta

3.2.1 Tyypitestausta:

Kumilevylaakerin tyypitestausta tulee suorittaa ennen kuin valmistusta aloitetaan. Tyypitestausta saa suorittaa ainoastaan hyväksytty testauslaboratorio tai joku muu, mutta kuitenkin ainoastaan tällaisen laboratorion valvonnassa. Tyypitestausta varten vaatimukset on määritelty standardin SFS-EN-1337-3 kohdassa 4.3. Tyypitestausta varten testaustiheys ja kappaleiden näytekoost on määritelty standardin SFS-EN-1337-3 taulukoissa 6, 7 ja 8. /1/

Taulukko 5: Laakereiden näytetyyppien määrittely (SFS-EN-1337-3)

Taulukko 6 Laakerin näytetyypin koon määrittely testausta varten

Laakerin näytetyyppi	a	b	Kerrosten määrä	(kerrosten ja teräsvahvikelevyjen paksuus)
I	200	300	3	(8 + 3)
II	400	500	5	(12 + 4)
III	600	700	7	(16 + 5)

HUOM. Mikäli valmistaja ei valmista näitä standardikokoja, laakerin tulee olla valmistajan valikoiman lähinnä vastaava koko.

3.2.2 Rutiinitestaus:

Kumilevylaakereiden valmistajan tulee suorittaa tuotteillaan jatkuvaa rutiinitestausta, johon valitaan tuotantoeristä satunnaisia näytteitä. Rutiinitestauksen vaatimukset on määritelty standardin SFS-EN-1337-3 kohdassa 4.3. Rutiinitestauksen testaustiheys ja näytekoot on määritelty standardin SFS-EN-1337-3 taulukoissa 5, 7 ja 8. Laakerikoonpanojen testaustiheys on määritelty tilavuuden mukaan jokaiselle paksuusluokalle erikseen. /1/

Taulukko 6: Laakereiden rutiinitestaustiheys (SFS EN-1337-3)

Taulukko 5 Laakerin rutiinitestaustiheys

Testin tyyppi	Kokonaispaksuus			
	$T_b \leq 50$	$50 < T_b \leq 100$	$100 < T_b \leq 150$	$T_b > 150$
Puristusjäykkyys^a	150 dm ³	250 dm ³	300 dm ³	350 dm ³
Liukumuodull	1 500 dm ³	2 500 dm ³	3 000 dm ³	3 500 dm ³
Leikkaustartunta	3 000 dm ³ näytetyypillä I (ks. 8.2.3)			
HUOM. 1 Tilavuudet tarkoittavat laakerissa olevan kumin tilavuutta.				
HUOM. 2 Puristusjäykkyys- ja liukumuodullisesti pitää suorittaa kunkin kategorian ensimmäiseksi valmistuneelle tuotantolaakerille.				
^a Pikapuristustesti kohdan 4.3.3.2 mukaisesti.				

3.2.3 Tarkastustestaus:

Jos tilaaja vaatii kolmannen osapuolen suorittamaa valvontaa, niin tehtaan oma laadunvalvontaohjelma on tällöin tarkastettava säännöllisin väliajoin, mutta kuitenkin vähintään kaksi kertaa vuodessa. /1/

3.2.4 Poikkeavuudet:

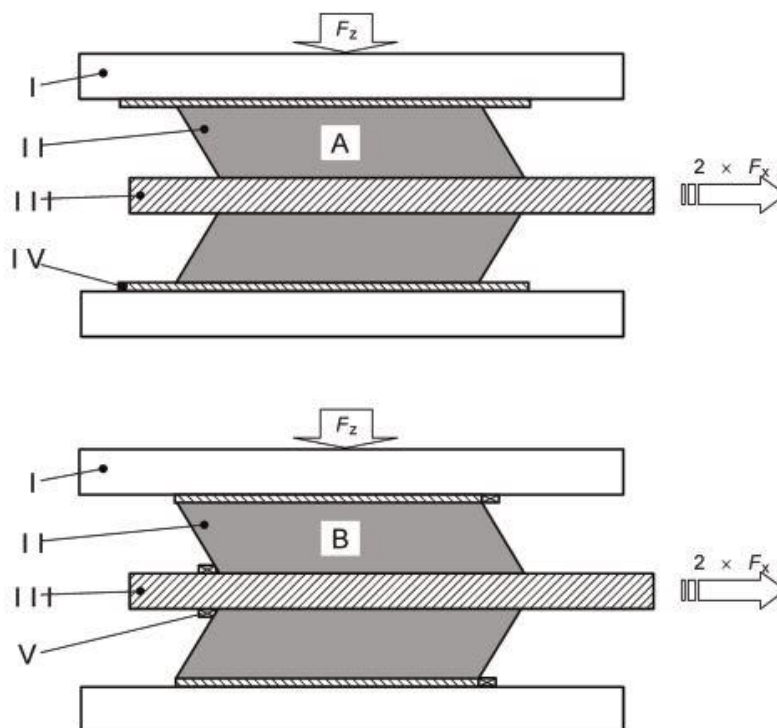
Mikäli tuotteen testauksessa tai tarkastuksessa selviävät tulokset ja testaukset eivät ole tyydyttäviä tai ne eivät vastaa vaatimuksia, joita niille on määritelty, tulee tuotteen valmistajan tehdä vaadittavat korjaukset, jotta tuote vastaa sille asetettuja määräyksiä ja ohjeita. /1/

3.3 Testausmenetelmät

Kumilevylaakereiden ominaisuuksien testausmenetelmiä on määritelty standardin SFS-EN-1337-3 liitteissä alkaen kohdasta F. Nämä ohjeistukset ovat velvoittavia jolloin valmistajien tulee tehdä testaukset niiden määritelmien mukaan. Standardi määrittelee sekä testauksessa käytettävät laitteistot, toimintatavat että tulosten analysoinnin ja raportoinnin.

3.3.1 Liukumoduuli

Liukumoduulin koestus tapahtuu kahden identtisen kumilevylaakerin leikkaussiirtymän mittauksesta, kun niihin kohdistetaan kasvavaa leikkauskuormitusta. Nimellisliukumoduuli määritetään mittaustuloksista. Tämän jälkeen tarkistetaan vielä, ettei laakereissa ole vikoja, kun ne ovat täydessä kuormituksessa.



Sellitys

A = Tyyppi E

B = Tyyppi C

I Puristuslevyt

II Koekappale

III Liikkuva levy

IV Uritettu vuorauslevy luiston estämiseksi (Tyyppi E)

V Metalliliuska luiston estämiseksi (Tyyppi C)

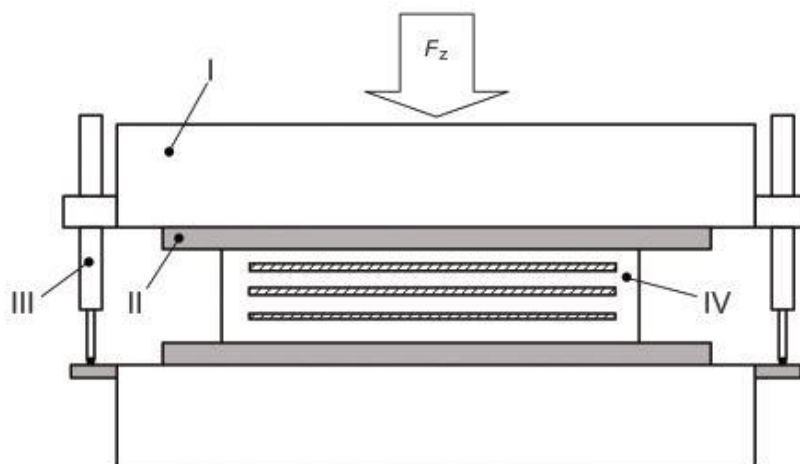
Kuva 1: Liukumoduulin testauslaitteiston kaavio kuva (SFS-EN 1337-3)

3.3.2 Leikkaustartunta

Vetomurtolujuuden testi on periaatteeltaan sama kuin liukumoduulin testauksessa, mutta puristusjännitys on suurempi ja leikkaussiirtymää jatketaan, jotta saadaan suurempia liukumia aikaiseksi. Vetomurtolujuuden testi voidaan jatkaa suoraan liukumoduulitestin jatkona.

3.3.3 Puristustestausmenetelmä

Puristustestausmenetelmän testaus koostuu kumilevyllaakerin puristumisesta, kun puristuskuormitus on kasvava. Tuloksista saadaan laskettua puristusmuodonmuutos, sekanttipuristusmoduuli ja puristusjäykkyys.



Selitys

- I Puristuslevyt
- II Uritetut verhoulevyt luiston estämiseksi
- III Siirtymämittarit
- IV Koekappale

Kuva 2: Puristustestausmenetelmän kaavio kuva (SFS-EN 1337-3)

3.3.4 Kovuuden mittaus

Kumin kovuus voidaan mitata IRHD-mittauksella. Standardin SFS-ISO 48:210 (E) mukaisessa kovuuden mittauksessa tulos luetaan kolme kertaa, jonka jälkeen kappaleen kovuudeksi ilmoitetaan mittaustulosten mediaani. IRHD-arvo on yhdenmukainen ShoreA kovuuteen nähden.

4 LAAKEREIDEN AIHEUTTAMIA ONGELMIA

4.1 Kumilevylaakereiden pullistuma

Liikerakennuksessa ilmeni kaksi vuotta rakennuksen käyttöönoton jälkeen kumilevy-laakeri liitoksissa pullistumia. Pullistumia oli havaittavissa sekä enemmän kuormiteuilla keskilinjailla, että kevyemmin kuormitetuilla reunalinjoilla.



Kuva 3: Reunalinjan liitos (A-Insinöörit Suunnittelu Oy)



Kuva 4: Keskilinjän liitos (A-Insinöörit Suunnittelu Oy)

Tapausta tutkiessa todettiin, että kumilevyjen mitoituksessa, sekä detaljoinnissa ei ole poikettu normaaleista käytännöistä ja laakereiden pitäisi kestää niille kertyvät kuormitukset. Kumilevyt ovat laajentuneet tasaisesti jokaiselta sivultaan, joten liitokset ovat ilmeisen tasaisesti puristettuja eikä liitoksissa ole havaittavissa kiertymästä johtuvia pullistumia. Palkkien moduuliväli on n.7m jolloin niiden taipuma on suhteellisen pieni eikä liitokseen pääse syntymään kiertymää joka puristaisi liitosta epätasaisesti. Palkkien pystysaumoissa ei havaittu merkittäviä vaakaliikkeitä, jolloin leikkausvoimista aiheutuvat muodonmuutokset ovat epätodennäköisiä. Kumilevyjen alkuperäinen paksuus oli 12mm ja niiden todettiin puristuneen n.3mm eli noin 25% alkuperäisestä.

VTT:n tutkimuksissa testattiin sekä käytetyn, että vertailukumin ominaisuuksia. Tutkimuksissa todettiin käytetyn kumin olevan noin 15% kovempaa kuin vertailukumi. Vetolujuutta testatessa todettiin murtolujuuden olevan noin 30% huonompi kuin vertailukumilla ja murtovenymä noin 100 prosenttiyksikköä huonompi. Puristusominaisuudet olivat molemmilla, vertailukumilla ja käytetyllä kumilla hyvin samankaltaiset.

FTIR analyysissä todettiin käytetyn kumin sisältävän enemmän täyteaineita kuin vertailukumin.

Havaintojen perusteella ei puristuman ja laajentumisen todeta heikentävän liitoksen kantokykyä. Kumilevyt päätettiin leikata alkuperäiseen kokoonsa ja niiden käyttäytymistä seurata vuosittain huoltotoimenpiteiden yhteydessä.

4.2 Teräsbetonipilarin epäonnistunut korjaustyö

Teräsbetonipilarin korjaustyö toteutettiin painelaatikko valuna. Valussa käytetty itsestään tiivistyvän betonin leviämä mitattiin pumppuautosta suoraan otetusta näytteestä eikä pumppausletkun purkupäästä. Valutöiden alkuvaiheessa betonimassa oli suunniteltua jäykempää. Pilari-palkki liitoksessa käytetyn kumilevylaakerin materiaalin oikeellisuus tarkastettiin puutteellisesti ennen kuin asennustyötä aloitettiin. Työmaalla varmistuttiin ainoastaan, että kovuus (Shore 70) oli lähetysluettelon perusteella oikea. Suunnitelmissa esitetyt puristusjännityksen ja leikkausmoduulin arvot jätettiin kuitenkin tarkistamatta tilaus- ja asennusvaiheessa. Ensimmäistä pilaria kuormitettaessa pilarin yläpäähän betoni lohkesi kumilevylaakerin alareunan kohdalta kahdella pilarin sivulla.



Kuva 5: Kuormituksessa laajentunut laakeri ja lohjennut betoni. (RVP-V-BE-21)

Laakerin todettiin painuneen kasaan, noin 2mm ja pursunneen sivuille n.10-15mm riippuen mittauskohdasta. Kuormitus oli lohkeamishetkellä n.80-90% pysyvistä kuormista, yläpuolisen kannen käyttö oli tällöin kielletty, joten hyötykuormia ei ollut lohkeamishetkellä vaikuttamassa.

Kumilevylaakerit jouduttiin vaihtamaan yhdeksään jo aikaisemmin korjattuun pilariin. Työsuunnitelmaa korjattiin betonimassan notkeuden mittaamisen osalta. Pilari-palkki liitoksiin suunniteltiin uusi laakeri, joka ennen asennusta testattiin ja todettiin toimivaksi. Kohteen kaikki kumilevylaakerit vaihdettiin uusiin.



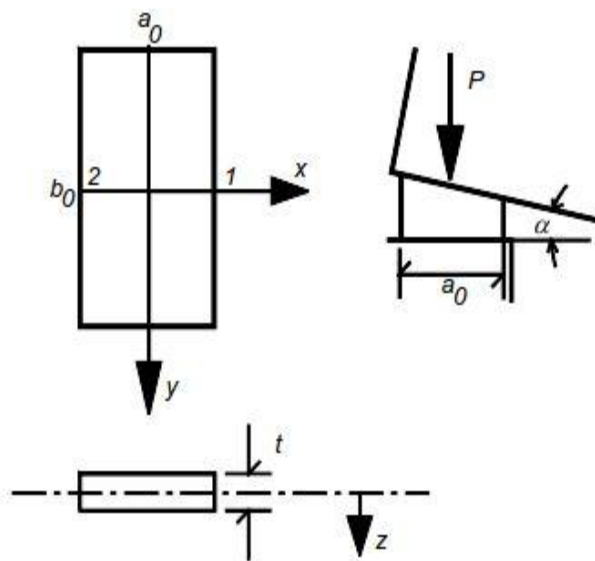
Kuva 6: Uusi laakeri paikoillaan. Uusi laakeri asennettiin kaksiosaisena, ettei katastrofitappia tarvitse katkaista. (RVP-V-BE-21)

Työmaalle toimitetut laakerit tutkittiin VTT:llä jälkeinpäin ja tutkimuksissa todettiin, etteivät ne vastanneet suunnitelmissa olevia arvoja edes kovuuden osalta. /10/

5 RAKENNEMALLI

5.1 Yleisesti

Kumilevylaakerin tarkoitus rakenteen osana on tasata jännityshuippuja ja jakaa tukireaktio tasaisesti tukipinnalle, mahdollistaen tuen kiertymä sekä sallia vaakakuormista aiheutuva liike tuettavan rakenteen päässä. Ohuet laakerit ($t < 6\text{mm}$) pienentävät jännityshuippuja tehokkaasti sekä sallivat suuria puristusjäännityksiä. Kuitenkin ohuen laakerin kiertymäkyky, sekä kyky välittää vaakavoimia on heikompi kuin paksummalla laakerilla. Kun laakerin paksuutta kasvatetaan myös puristuma kasvaa ja tällöin sen kuormankantokyky pienenee vaikkakin kiertymäkyky kasvaa. Laakerin mitalla tuettavan rakenteen pituussuuntaan nähden on kiertymäkyvyn kannalta suuri vaikutus.



Kuva 7: Merkinnät, sekä koordinaatistot. a_0 = sivumitta jänteen suunnassa b_0 = sivumitta kohtisuorassa suunnassa. Yleensä a_0 on pienempi kuin b_0 .

t = kumilevyn nimellispaksuus.

z = koordinaatti paksuussuunnassa

x = koordinaatti pituussuuntaan

Kiertymäkulma α = levyn yläpinnan tason oletettu kallistuma sen vaakatasoon nähden. (Leskelä 2009)

5.2 Laakeria rasittavat kuormitukset

Talonrakentamiseen liittyvissä sovellutuksissa laakereille tulevat kuormat ovat pääasiallisesti staattisia. Kumin jäykkyys eroaa suuresti riippuen, siitä kuormitetaanko, sitä staattisesti vaiko dynaamisesti. Staattiseen liukumoduulin verraten kumin dynaaminen liukumoduuli on jopa 2,5-kertainen. /2/

5.2.1 Pystysuuntaiset kuormitukset

Kumilevy-laakerilla käyttökelpoisuus vaatimus perustuu puristumaan. Kuormitusyhdistelmiä valittaessa pitää huomioida niiden eroavaisuus palautumattomuuden ja palautuvuuden huomioon ottamisessa.

Murtorajatilassa kuormitusyhdistelmät ja osavarmuuskertoimet saadaan kaavasta (1) (SFS EN-1990)

$$\begin{cases} 1,15K_{FI}G_{kj,sup} + 0,9G_{kj,inf} + 1,5K_{FI}Q_{k,1} + 1,5K_{FI}\sum_{i>1}\psi_{o,i}Q_{k,1} \\ 1,35K_{FI}G_{kj,sup} + 0,9G_{kj,inf} \end{cases} \quad (1)$$

Lausekkeista tulee lopullisena yhdistelmänä käyttää, sitä kumpi on epäedullisempi mitoituksen kannalta.

Käyttörajatilassa on EN 1991-1-1 mukaan kolme eri kuormitusyhdistelmää.

Ominaisyhdistelmä, tavallinen, sekä pitkäaikaisyhdistelmä. Näistä varmimmalla puolella on ominaisyhdistelmä, joka antaa suurimman mitoituskuorman. Tavallisen ja ominaisyhdistelmän eroavaisuus on kuorman poistuessa niiden palautumattomuus, sekä palautuvuus niiden rajatiloissa. Pitkäaikaisyhdistelmä ottaa huomioon muuttuvan kuorman pitkäaikaisuuden huomioon yhdistelykertoimella, jonka arvo vaihtelee kuormaluokan mukaan.

Ominaisyhdistelmä: (2)

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,1}$$

Tavallinen: (3)

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Pitkäaikainen: (4)

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Kumilevylaakereita mitoitettaessa yleisesti käytetty kuormitusyhdistelmä käyttöraja-tilassa on ominaisyhdistelmä. Pitkäaikainen kuormitusyhdistelmä on käyttökelpoinen kuitenkin tapauksissa, joissa pitkäaikainen painuma on huomioitava mitoituksessa. /3/

5.2.2 Vaakasuuntaiset kuormitukset

Kumilevylaakeria rasittavat vaakavoimat syntyvät pääosin erilaisista pakkovoimista, kuten lämpöliikkeet, kutistuma, viruma, sekä taipuma. Kumilevylaakeriliitoksessa vaakavoimien siirtäminen tapahtuu kitkavoimien avustuksella, jolloin liittyvien materiaalien kontaktipinnoilla on olennainen vaikutus liitoksen käyttäytymiseen. Tuulikuorman vaikutus huomioidaan kumilevylaakerin mitoituksessa, mikäli rakennuksen ulkovaipassa vaikuttava tuulikuorma voi välittyä liitokseen. Tällöin tuulikuorman täydestä ominaisvaikutuksesta huomioidaan 75%. Jos kuitenkin pystytään osoittamaan, että tuulikuorma välittyy muuten kuin kumilevylaakerin välityksellä, sitä ei tarvitse huomioida laakerille tulevana rasituksena.

Vaakasuuntaisiin kuormituksiin on olemassa ohjeistuksesta riippuen erilaisia laskentamalleja. Betoninormikortti 23 (2012) antaa onnettomuustilanteen mitoituskuormaksi $H_d = k \cdot V_k$, jossa k arvo on kumilevylaakerilla 0,2 ja V_k on elementin tukireaktion ominaisarvo. Puristetuissa liitoksissa ei kuitenkaan betonirakenteiden eurokoodin mukaan

tarvitse ottaa leikkausvoimia huomioon, jos ne ovat pienempiä kuin 10% puristusvoimasta. /11/

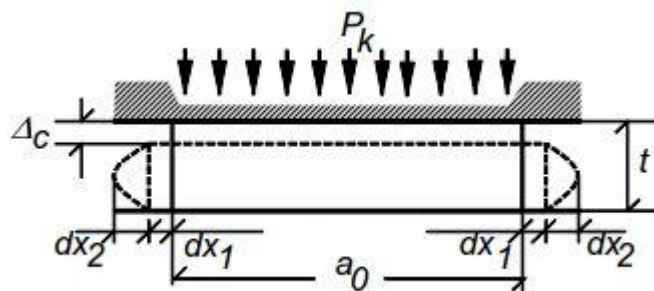
Leskelän (2009) teorian mukaan voidaan lämpöliikkeen suuruutta huomioidessa käyttää 40 °C lämpötilaerona, mikäli ei tarkempaa arvoa ole saatavilla. Lämpöliikkeen suuruus huomioidaan betonirakenteissa pituuden lämpötilakertoimella, $\alpha_T = 10 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$. Silloin kun laakeri ei luista saadaan siirtymästä syntyvä vaakavoima Kumilevy-laakerien suunnittelu 1979 ohjeen mukaisesti kaavasta:

$$H = \frac{a_0 b_0 G u}{t} \quad (5)$$

Kaavassa a_0 ja b_0 ovat laakerin leveys ja pituus, t laakerin paksuus, G liukumoduuli ja u on vaakasiirtymä. /2; 13/

5.3 Muodonmuutokset

Kumi materiaalina on melkein kokoon puristumatonta. Kumin poissonin vakio eli suppeumaluku ν on noin 0,5 mikä tarkoittaa sitä, että kumi käyttäytyy puristettaessa nesteen kaltaisesti. Kumia puristettaessa paksuussuunnassa sen tilavuus ei pienene vaan se pyrkii pullistumaan ulospäin vapailta reunoiltansa. Tämä on seurausta kumilevyn sisällä tapahtuvista leikkausmuodonmuutoksista. Samaan aikaan kumilevyn tasossa, sekä pystysuorissa tasoissa syntyy erilaisia leikkausjännityksiä. Näitä jännityksiä ei yleensä tarkastella, jos materiaalin poissonin vakio on pieni. /2/



Kuva 8: Kumilevyn tilavuuden muuttumattomuudesta aiheutuvat laajenemat. (Leskelä 2009)

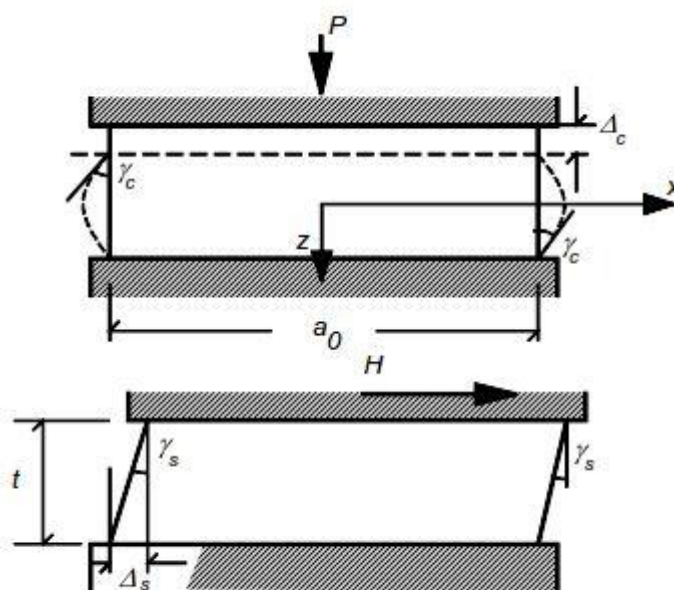
Leskelän määritelmän mukaan kumilevyn painumisesta johtuva ulkomittojen muutos jaetaan kahteen osaan dx_1 ja dx_2 . Laajeneminen kumilevyssä on pienemmän sivumitan suunnassa suurinta. Jotta levyn laajenemista voidaan arvioida, sen oletetaan tapahtuvan seuraavalla tavalla:

$$\cdot a_0 \rightarrow a_0 + 2(dx_1 + dx_2) = a_0 + 2sb \quad (6)$$

$$\cdot b_0 \rightarrow b_0 + 2(dx_1 + dx_2) (a_0 / b_0) = b_0 + 2sb (a_0 / b_0) \quad (7)$$

sb :n määritelmä saadaan kaavasta $sb = dx_1 + dx_2$, sb =luistaminen + pullistuma. (8)

Kumilevyn pullistuma dx_2 määritellään leikkausmuodonmuutoksen perusteella, ja dx_1 määritellään tilavuuden muuttumattomuuden perusteella.

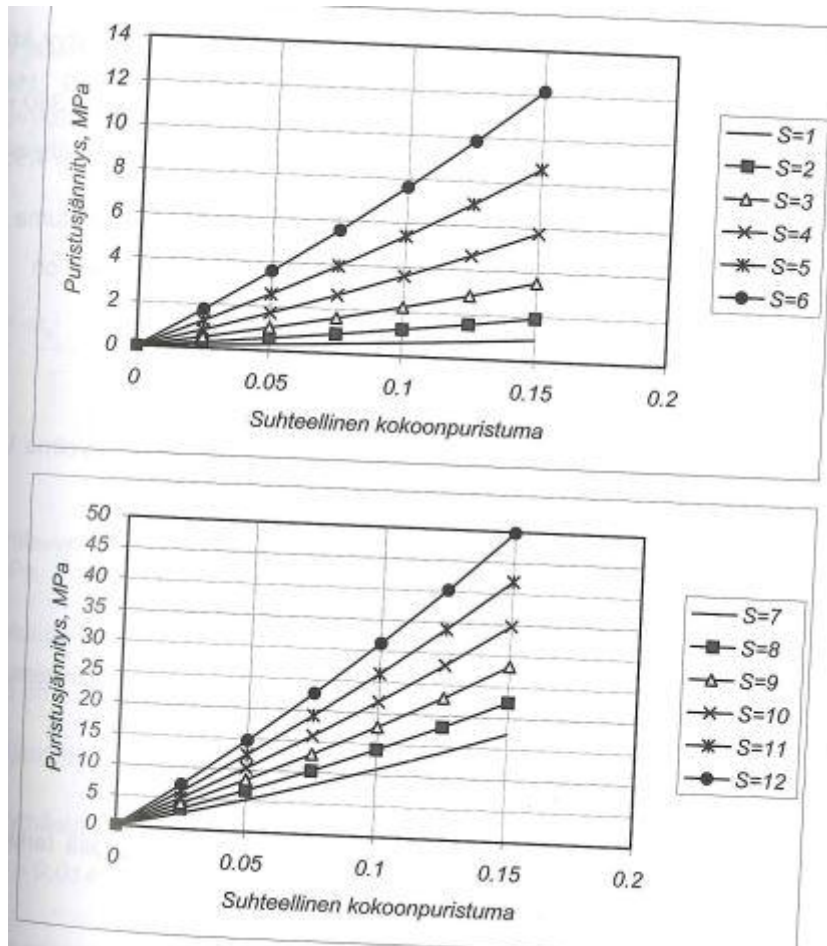


Kuva 9:

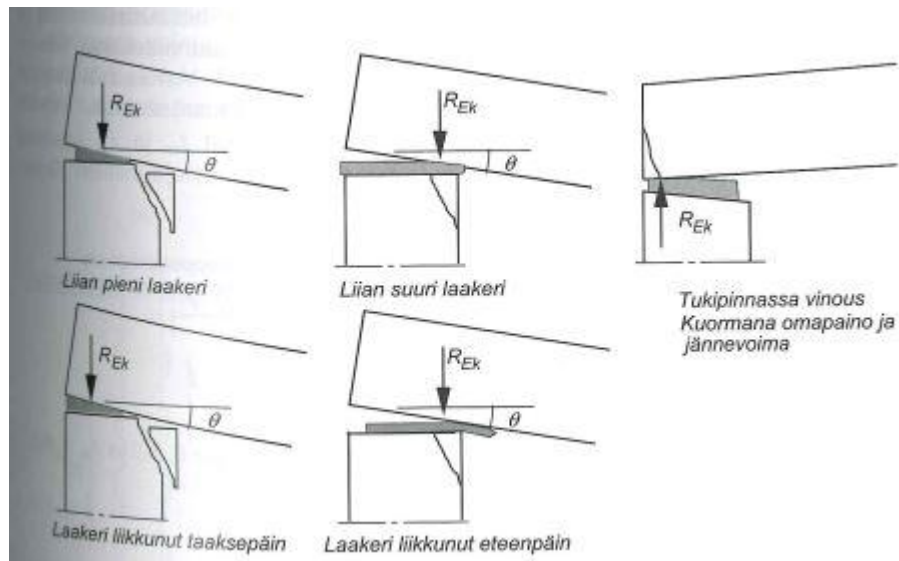
Kuormasta P aiheutuva kokoonpuristuma ja painuma, sekä leikkausmuodonmuutos.

Vaakavoimasta H aiheutuvat leikkausmuodonmuutos sekä leikkaussiirtymä. (Leskelä 2009)

Kumilevyn eri pisteissä jännitykset vaihtelevat, vaikka jännitystiloja kuvataan keskimääräisellä puristusjännityksellä ja leikkausjännityksellä. Standardissa SFS EN 1337-3:ssa määritellään kuitenkin leikkausjännityksistä, että vaikka kumilevy-laakeri on suunniteltu sallimaan leikkaussiirtymiä, niin se ei silti ole sallittua pysyvästi. /1; 2 /



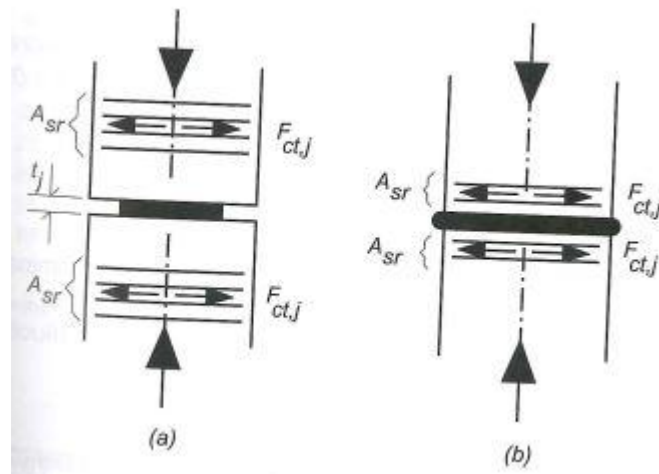
Kuva 10: Kumin kovuudella Shore 60 kumilevyjen jännitys-muodonmuutossuhteet eri muotoluvuilla S (by210/Davey & Payne, 1964)



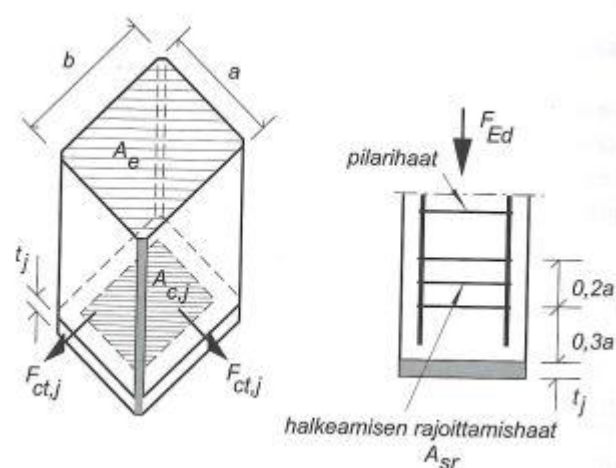
Kuva 11: Mahdollisia kumilevylaakerissa esiintyviä muodonmuutoksia (by 210)

5.4 Liittyvät rakenteet ja niiden vaatimukset

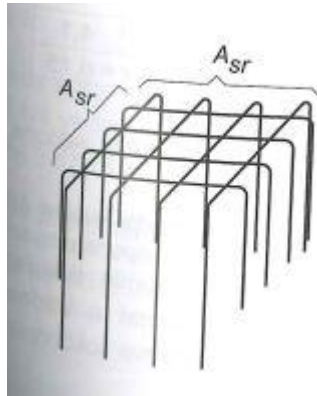
Liittyviä rakenteita mitoitettaessa tulee ottaa huomioon liitoksesta niille aiheutuvat rasitukset. Puristusjäännityksen vaikuttaessa kumilevy laakeriin ja sen pyrkiessä leviämään syntyy liittyvien rakenteiden pintoihin vetojäännityksiä. Nämä jännitykset johtuvat liittyvissä pinnoissa olevasta kitkasta. Tällaisessa tilanteessa rakenteessa oleva vetovoima vaikuttaa aivan rakenteen pinnassa ja tällöin raudoituksessa käytettävien U-teräksien pitäisi olla mahdollisimman lähellä rakenteen pintaa, kuitenkin sijaiten suojaetäisyyden c_{nom} etäisyydellä rakenteen pinnasta. Hakateräkset tulee jakaa kuvien 13 ja 14 periaatteen mukaisesti. /12/



Kuva 12: Kumilevyllaakereiden puristusjännityksistä aiheutuvat poikittaiset vetovoimat. (by 210)



Kuva 13: (by 210) Kuvan 12 tapaukseen a pätevä pilarin pään rauditus.



Kuva 14: Kuvan 12 tapaukseen b pätevä pilarin pään raudoitus. (by 210)

Liitoksen suunnittelussa on tärkeää huomioida myös oikeanlaiset reunaetäisyydet liitetyihin pintoihin nähden. Leskelän (2009) ohjeistuksen mukaisesti kumilevyn reunan etäisyys liittyvän rakenteen reunaan pitää olla s_b . Kumilevyn leveys b_0 tulee olla pienempi kuin pilarin sivumitta $-2s_b$ mm. /2/

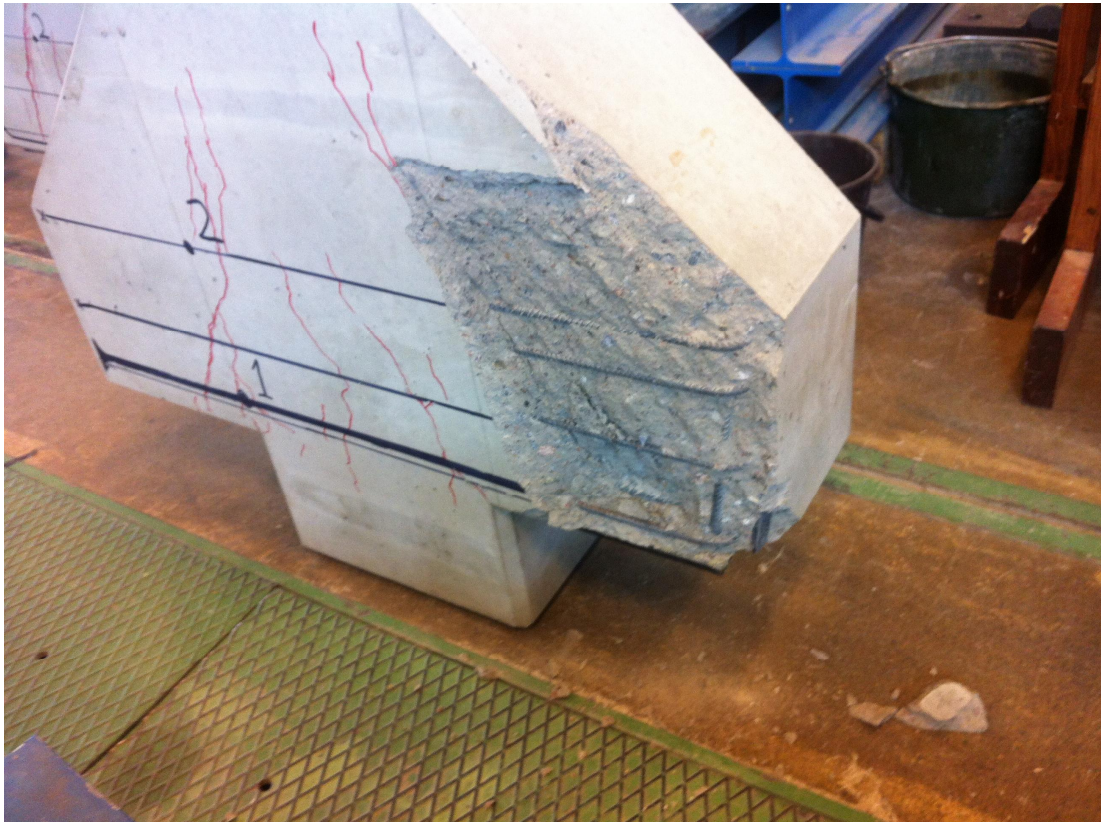


Kuva 15: Pilarin suojabetonin lohkeama (Sakari Lahti 2012)



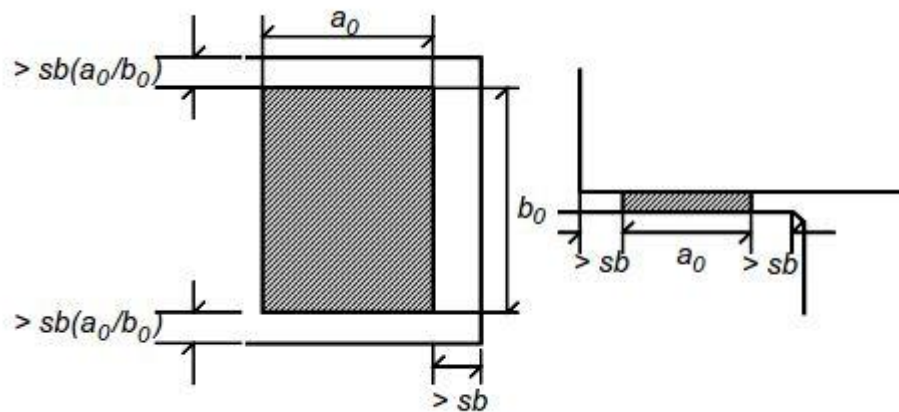
Kuva 16: Pilarin pään halkeaminen, kun hakarautoitus ei ole riittävä. (Sakari Lahti 2012)

Ulokkeellisiin pilareihin tulee sijoittaa vetorautoitus, niin että ne siirtävät ulokkeelle syntyvät vetovoimat luotettavasti pilarille, sekä estävät halkeilun. Ulokkeessa päävetorautoitus ankkuroidaan molemmista päistä. Kun ulokkeen pääterästyksenä käytetään alaspäin taivutettuja teräksiä, olisi suositeltavaa osan raudoituksesta olla vaakalenkkejä. Kun kumilevyn reuna ei ole riittävän kaukana ulokkeen reunasta toimivat vaakalenkit tehokkaasti lohkeamisen estäjinä. /14/



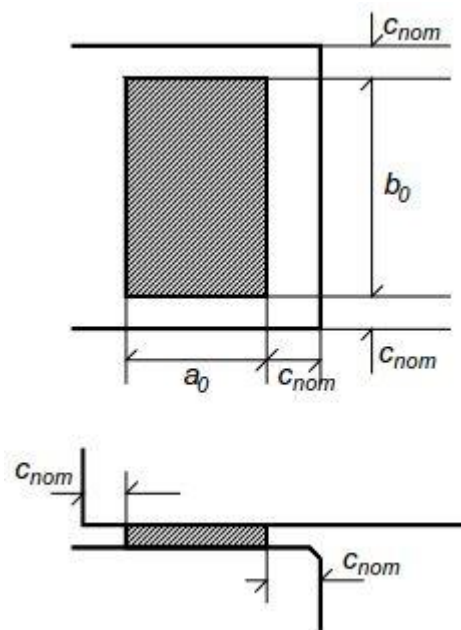
Kuva 17: Konsolin suojabetonin lohkeama (Sakari Lahti 2012)

Sakari Lahden 2012 tekemissä puristuskokeissa konsolia kuormitettaessa kumilevy oli pullistunut tuen ohitse ja aiheutti painetta suojabetonin osuudelle, joka saattoi aiheuttaa betonin lohkeamisen. Konsolin ollessa osana kumilevylaakerin sisältämää liitosta tulee mitoitus suunnitella kokonaisuutena, jotta rakenne toimii optimaalisesti.

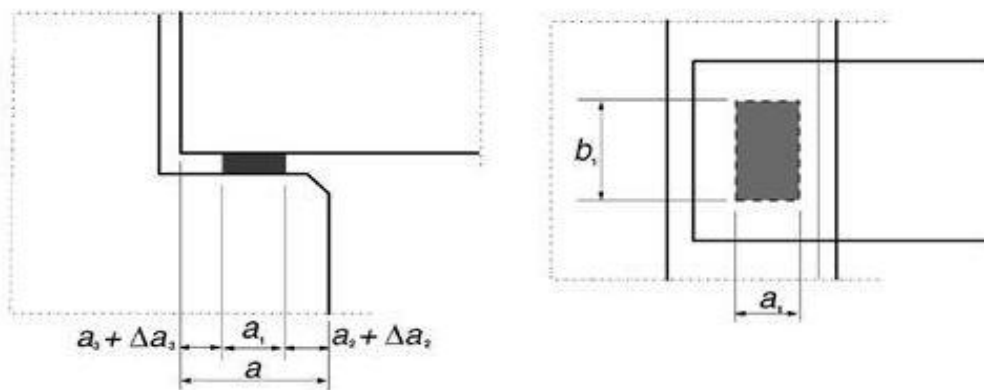


Kuva 18: Kuvassa kumilevyn enimmäismitat pilarin poikkileikkauskokoon nähden. (Leskelä 2009)

Tuen kiertyessä jompaankumpaan suuntaan kumilevyn enemmän puristuva reuna kuitenkin saattaa kuormittaa tukirakennetta suojaetäisyyden ulkopuolelta. Tällöin betonin raudoittamaton osa saattaa lohjeta. Tämä voidaan huomioida kuitenkin määrittämällä kumilevyn koko suojaetäisyyksien mukaisesti.



Kuva 19: Kumilevyn suunnittelussa on huomioitava levyn laajeneminen, kun sen nimelliskokoa $a_0 \times b_0$ määritetään. (Leskelä 2009)



Kuva 20: a_1 ja a_2 mittojen määrittely. (SFS-EN 1992-1-1 2005)

Eurokoodissa määritellyt tukipituudet, sekä mittapoikkeamat on esitetty seuraavissa taulukoissa:

Taulukko 7: Tukipinnan a_1 minimipituus. (SFS-EN 1992-1-1 2005)

Suhteellinen tukipaine, σ_{Ed}/f_{cd}	$\leq 0,15$	0,15...0,4	$> 0,4$
Viivamaiset tuet (väli- ja yläpohjat)	25	30	40
Ripaväli- ja katto-orret	55	70	80
Pistemäiset tuet (palkit)	90	110	140

Taulukko 8: Tukipinnan a_2 tehoton pituus. (SFS-EN 1992-1-1 2005)

Tukimateriaali ja -tyyppi	σ_{Ed}/f_{cd}	$\leq 0,15$	0,15...0,4	$> 0,4$
Teräs	viivamainen	0	0	10
	pistemäinen	5	10	15
Teräsbetoni $\geq C30$	viivamainen	5	10	15
	pistemäinen	10	15	25
Raudoittamaton betoni ja teräsbetoni $< C30$	viivamainen	10	15	25
	pistemäinen	20	25	35
Muurattu rakenne	viivamainen	10	15	-
	pistemäinen	20	25	-

Taulukko 9: Tukipinnan a3 tehoton pituus. (SFS-EN 1992-1-1 2005)

Raudoituksen yksityiskohdat	Tuki	
	Viivamainen	Pistemäinen
Tuelle jatkuvat tangot (liikerajoitus tai vapaa liike)	0	0
Suorat tangot, vaakatason lenkit, rakenneosan pään lähellä	5	15, mutta vähintään c_{nom}
Jänneteräokset tai suorat tangot, jotka ulottuvat rakenneosan päähän	5	15
Pystytason lenkkirauditus	15	betonipeite + taivutuksen sisäsäde

Taulukko 10: Tukipinnan a2 mittapoikkeama Δa_2 , $\Delta a_3 = l_n/2500$, jossa l_n on tuettavan rakenneosan pituus. (SFS-EN 1992-1-1 2005)

Tukimateriaali	Δa_2
Teräs tai betonielementti	$10 \leq l/1200 \leq 30$ mm
Muurattu rakenne tai paikalla valettu betoni	$15 \leq l/1200 + 5 \leq 40$ mm

Kumilevyn ollessa neliön muotoinen pitää huomioida, että liittyvän pinnan jokaisella sivulla on riittävä reunaetäisyys. Tämä on huomioitava etenkin silloin kun yläpuoliseen palkkiin tulee vääntörasitusta. /2/

Liittyviä betonirakenteita mitoitettaessa tulee huomioida myös kuorman mahdollinen epäkeskisyys. Kuormituksen ollessa epäkeskeinen saattaa siitä aiheutua tukirakenteeseen taivutusta, joka tulee huomioida raudoitusten mitoituksessa.

5.5 Kiertymä

Kiertymäkulman vaikutuksesta syntyneet pullistumat kumilevylaakerissa aiheutuvat leikkausjännityksistä, sekä leikkausmuodonmuutoksista. Betonirakenteissa kiertymäkulmaan vaikuttavat kenttämomentti, taivutusjäykkyys, sekä jänneväli. Eggert & Kauchke 2002 mukaan palkin pään kiertymä vastaa palkin keskellä kaksinkertaista taipuman arvoa. Jännitetyissä rakenteissa kiertymät poikkeavat tavallisista betonirakenteista ja ne ovat riippuvaisia sekä jännevoimasta, että pitkäaikaisista kuormituksista jolloin niiden kiertymän arvoon eivät päde samat säännöt kuin jännittämättömälle

rakenteelle. Palkin jännevälin ollessa suhteellisen pieni, ei taipuman vaikutus ole niin huomattava kuin pitkällä jänneväleillä. Suhteessa lyhyet ja korkeat palkit ovat laakeriystävällisempiä kuin pitkät ja matalat, joilla taipuma on huomattavasti suurempi. Tästä syystä liitoksen yläpuolisia betonirakenteita mitoittaessa tulee tarkkaan huomioida taipuman vaikutus kumilevy-laakerin mitoittamiseen. /2; 9/

Palkin pään kiertymä voidaan laskea lujuusopin säännöillä. Tasaisesti kuormitetussa yksiaukkoisessa palkissa kiertymä saadaan laskettua seuraavasti:

$$\alpha = \frac{ql^3}{24EI} \quad (8)$$

q= tasainen kuorma

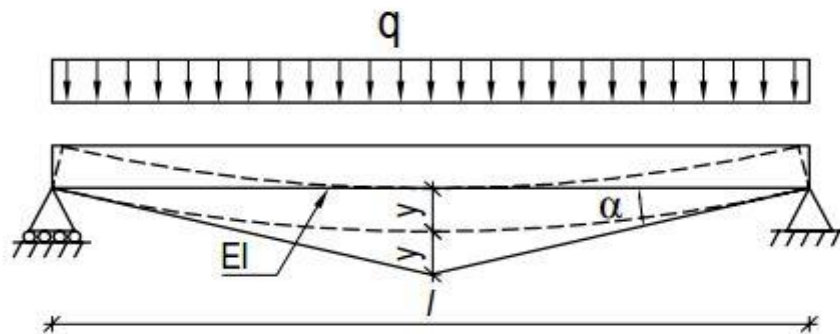
l= palkin pituus

(EI)= taivutusjäykkyys

Kiertymä voidaan laskea myös kaavasta (Eggert & Kauchke 2002):

$$\alpha = 0.4 \frac{l}{EI} M_{max} \quad (9)$$

M_{\max} =palkin maksimimomentti käyttörajatilassa



Kuva 21: Palkin taipuman vaikutus kiertymään.

6 KUMILEVYLAAKERIN MITOITTAMINEN

6.1 Yleisesti

Kumilevylaakereiden mitoittamiseen on olemassa maailmalla monia eri ohjeita. Monet niistä keskittyvät kuitenkin siltalaakereiden mitoittamiseen. Suomessa on kansallisena mitoitusohjeena käytössä RTL0105: Kumilevylaakerin mitoittaminen. RTL0105 mitoitusohje huomioi ensimmäisenä myös kiertymän vaikutuksen laakerin kuormitettavuuteen. Tässä opinnäytetyössä esiintyvä laskentatapaus perustuu RTL0105 mukaiseen mitoitustapaan ja toimii esimerkkinä todellisen kohteen kumilevylaakerin mitoituksessa.

6.2 Erilaiset mitoitusohjeet

EN 1337-3:2005 (Sfs-standardi)

RTL0105/BY210 (Kansallisesti Suomessa käytössä oleva Matti V. Leskelän menetelmä)

UIC 772 R (International Union of Railways)

BE 1/76 (Englanti)

TVH 1979 (Tie- ja vesirakennushallituksen vuonna 1979 julkaistu ohje)

RUNKO BES 1992 (SBK 1992 Perustuu Ruotsin tie- ja vesirakennushallituksen menetelmään)

AASHTO (USA Kehitetty UIC:n ja BE:n pohjalta ja keskittyy pääosin siltalaakereihin)

6.3 Raportti RTL0105 ja BY210 mukainen mitoitus

Kumin liukumoduuli ShoreA-kovuuden h funktiona

$$G(h) = 0,07 \times 1,045^h \quad (10)$$

Laakerin muotoluku, suorakaidelaakerille

$$S = \frac{ab}{2t(a+b)} \quad (11)$$

Laakerin nimellinen puristuma

$$d_c = \frac{t\sigma_c}{10GS+2\sigma_c} \leq 0,15t \quad (12)$$

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad (13)$$

Leikkausjännitysten rajaehto

$$\tau_c + \tau_r \leq 2,5G \quad (14)$$

Leikkausjännitys pystykuormasta

$$\tau_c = C_p \frac{t}{a_0} \frac{P_k}{A} \quad (15)$$

Leikkausjännitys kiertymästä

$$\tau_r = \alpha C_\alpha \frac{G(h)}{2} \left(\frac{a_0}{t}\right)^2 \quad (16)$$

Vaakavoimasta H_k aiheutuvaa leikkausmuodonmuutos

$$\gamma_{\max} = \gamma_L + \gamma_s \leq 0,7 \quad (17)$$

$$\gamma_s = \frac{H_k}{GA} \quad (xx) \quad \gamma_L = 0.4 \quad (18)$$

Kumilevyn liikkumattomuusehto

$$H_k \leq \frac{P_{gk} + 4GA}{7} \quad (19)$$

$$H_k \leq 0.4P_{gk} \quad (20)$$

Kitkakertoimen laskenta

$$\mu = \frac{1}{7} \left(1 + 4 \frac{GA}{P_k}\right) \leq 0,4 \quad (21)$$

Välitön todellinen kokoon puristuma

$$\Delta_c = \frac{tk_{slip}P}{8G_r(h)AS + 2k_{slip}P} \leq \Delta_{c.lim} \quad (22)$$

Kumin tehollinen liukumoduuli ShoreA-kovuuden h funktiona

$$G_r(h) = G(h)s_f^{(s)} \quad (23)$$

$$s_f^{(s)} = \left(\frac{s}{4.7}\right)^{0.3} \quad (24)$$

Kumilevyn kuormitettavuus painumaehdon rajaamana

$$P_{k,1} = \frac{2G(h)AS}{1 + 1,7\alpha \frac{a_0}{t}} \quad (25)$$

Kumilevyn kuormitettavuus leikkausjännitysten rajaamana

$$P_{k,2} = \frac{G(h)A}{c_p} \frac{a_0}{t} (2,5 - 0,5\alpha C_\alpha \left(\frac{a_0}{t}\right)^2) \quad (26)$$

Kumilevyn kuormitettavuus maksimipainuman rajaamana

$$P_{k,3} = \frac{8\Delta_{c.lim} G_r(h)AS}{(t-2\Delta_{c.lim})k_{slip}} \quad (27)$$

Kumilevyn kuormitettavuus ominaiskuormilla

$$P_k = \min \{P_{k1}, P_{k2}, P_{k3}\} \quad (28)$$

Kumilevyn kuormitettavuus on näistä arvoista pienin, jolloin laskennassa ollaan var-
malla puolella kuormitettavuuden kannalta.

6.3.1 Laskennassa esiintyviä termejä:

h = kumin Shore kovuus

a_0 = kumilevyn pienempi sivumitta

b_0 = kumilevyn isompi sivumitta

t = kumilevyn paksuus

A = kumilevyn pinta-ala

S = kumilevyn muotokerroin

α = kiertymä radiaaneina

C_p = kumilevyn sivumitoista riippuva kerroin

C_α = kumilevyn sivumitoista riippuva kerroin

$\Delta_{c,lim}$ = kumilevyn suurin sallittu painuma (3mm)

γ_L = tuettavan rakenteen alapinnan vaakasiirtymistä johtuva leikkausmuodonmuutos

P_{gk} = tukireaktio

Taulukko 11: Kumilevyjen kertoimien C_p ja C_α arvot sivujen mittojen suhteen.
(Leskelä 2009)

b_0/a_0	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	10
C_p	4,73	4,28	4,02	3,84	3,70	3,60	3,51	3,45	3,40	3,35	3,32	3,15
b_0/a_0	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	2	3	> 3			
C_α	0,464	0,471	0,476	0,48	0,483	0,485	0,489	0,49	0,49			

k_{slip} arvoksi Leskelä raportissaan suosittelee testaustulosten perusteella käyttämään arvoa 1,9 jolloin laskelmat ovat painuma arvoja tutkiessa varmallalla puolella. /2/

6.4 Liittyvät rakenteet

Kumilevylaakerin puristuksesta ja leviämisestä johtuvien vetovoimien vaatima lisäraudoitus liittyvissä rakenteissa by 210 mukaan:

$$A_{,sr} = 0,25 \frac{t_j}{h} \frac{F_{Ed}}{f_{sd}} \quad (29)$$

$$A_{,sr} \geq \frac{1.5xaxbxf_{ct,j}}{1000} \quad (30)$$

A_{sr} jaetaan lähelle liitospintaa U-teräksinä tai hakoina kohdan 4.4 periaatteen mukaisesti, jolloin kumilevylaakereista tulevat vetovoimat siirtyvät optimaalisesti teräksille eivätkä aiheuta halkeamia betonipintoihin liitoksessa. /12/

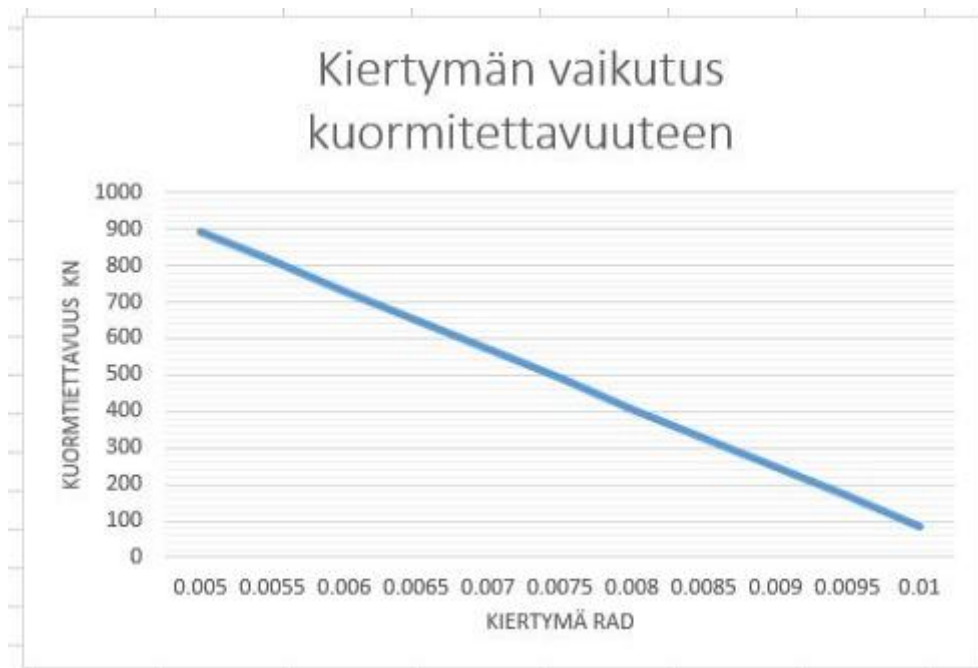
Ulokkeellisissa pilareissa ulokkeen raudoitus ja laakeriliitos toimivat kokonaisuutena, jossa kuitenkin laakerin mitoitus noudattaa samaa periaatetta kuin pilarin päässä olevassa liitoksessa. Tässä työssä keskitytään laakerin mitoitukseen, joten raudoituksesta huomioidaan ainoastaan kumilevylaakerista suoraan liitokseen aiheutuvat lisärasitukset.

6.5 Kiertymän vaikutus kuormitettavuuteen

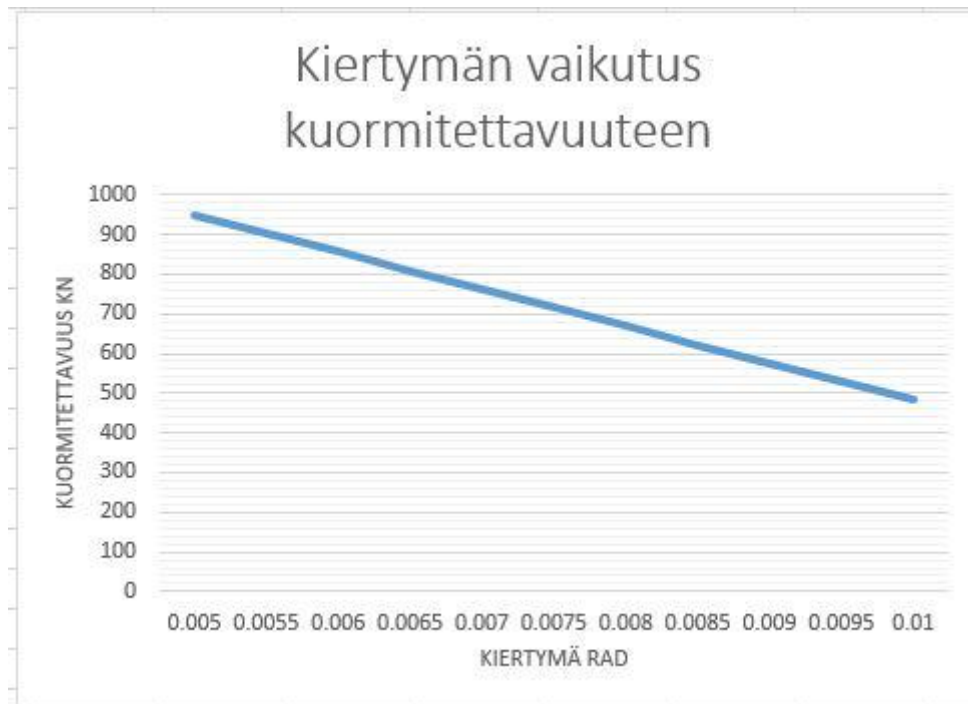
Liittyvän rakenteen taipumasta johtuva kiertymä tuella vaikuttaa huomattavasti kumilevylaakerin kuormitettavuuteen. Ohuilla laakereilla kiertymäkyky on huomattavasti heikompi kuin paksummilla laakereilla



Kuvio 1: Laakerin 320mm x 320mm t=8mm Shore 60 kuormitettavuus eri kiertymän arvoilla



Kuva 2: Laakerin 320mm x 320mm t=10mm Shore 60 kuormitettavuus eri kiertymän arvoilla



Kuvio 3: Laakerin 320mm x 320mm t=12mm Shore 60 kuormitettavuus eri kiertymän arvoilla

Laakerin paksuutta kasvattaessa sen kiertymäkyky kasvaa huomattavasti, eikä kiertymän kasvaessa kuormitettavuudessa tule niin huomattavaa pudotusta kuin ohuemmillä laakereilla. Vielä laakerilla t=10 kuormitettavuus putoaa lähes 90% alkuperäisestä kun kiertymää kasvatetaan 0.005:stä 0.01:n. Liittyviä rakenteita mitoitettaessa tämä on syytä huomioida etenkin taipuma tarkastelussa.

6.6 Kumin kovuuden vaikutus kuormitettavuuteen

Kumin kovuudella on huomattava vaikutus sen kuormitettavuuteen. Kumilevy-laakereita mitoitettaessa tulisikin varmistua käytettävän laakerin todellisesta kovuudesta. Kumilevy-laakerin kovuudelle on määritelty toleranssi ± 5 , jolloin Shore 60 laakeri saattaa todellisuudessa olla kovuudeltaan ainoastaan 55.



Kuvio 4: Laakerin 320mm x 320mm t=10mm rad 0.01 kuormitettavuus eri kumin kovuuden arvoilla



Kuvio 5: Laakerin 320mm x 320mm t=10mm rad 0.005 kuormitettavuus eri kumin kovuuden arvoilla



Kuvio 6: Laakerin 320mm x 320mm t=12mm rad 0.005 kuormitettavuus eri kumin kovuuden arvoilla

Kuormitettavuudessa on kovuuden toleranssin ± 5 sisällä huomattavaa eroa. Laakerilla t=12 320x320mm kuormitettavuus eroaa Shore55 ja 65 välillä 210kN, jolloin sillä on rakenteen suunnittelussa jo merkittävä vaikutus. Suositeltavaa olisikin aina varmistua käytettävän kumin ominaisuuksista, jottei liitos tule alimitoitetuksi. Jos kumin kovuudesta ei ole varmuutta suositeltavaa olisi käyttää toleranssin alarajan mukaista kovuutta. Tällöin kumilevy-laakeri Shore60 tulee mitoittaa kovuudella Shore55.

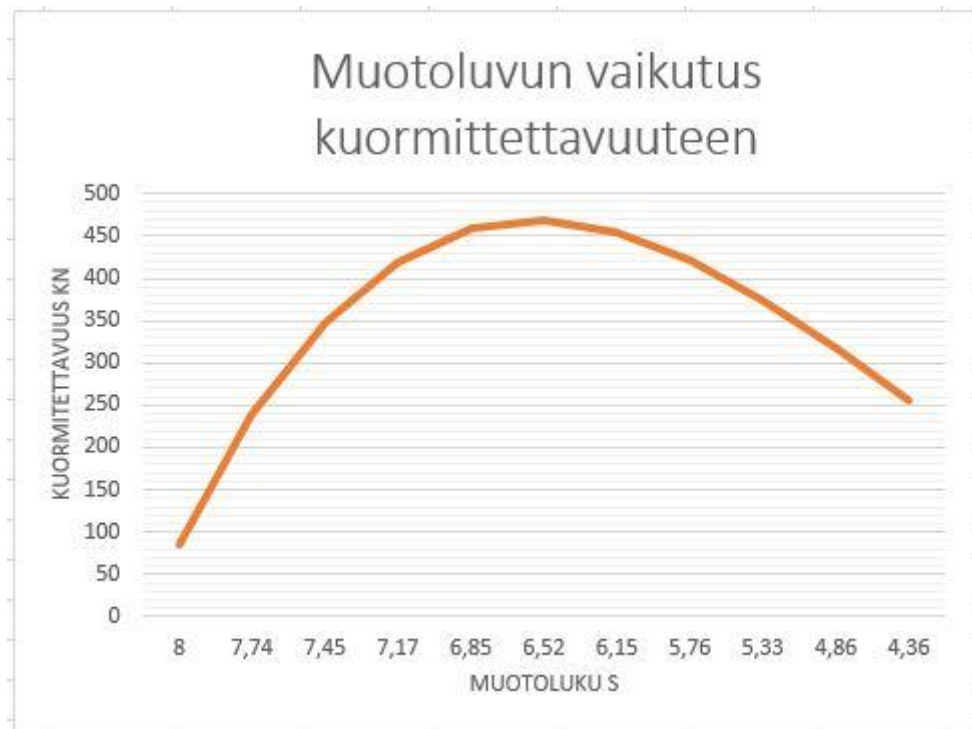
6.7 Muotoluvun vaikutus laakerin kuormitettavuuteen

Kumilevyn kuormitettavuuteen vaikuttaa sen geometria muotoluvun S kautta, joka käytännössä tarkoittaa levyn a_0 mitan rajoittamista pienemmäksi kuin b_0 mitta jolloin levyn kiertymiskyky paranee. P_{k2} arvoa laskettaessa kuormitettavuus menee nolleen,

kun a_0/t suhde on n.30 ja kiertymä α on 0.01 rad. Kuormitettavuuden kannalta optimaalinen a_0/t suhde on noin 22 jolloin P_{k2} saa maksimiarvonsa, jos kuitenkin hoikkuus kasvaa putoaa laakerin kuormitettavuus nopeasti.



Kuvio 7: Laakerin $t=8$ $\alpha=0.01$ rad kuormitettavuus, kun sivumittaa a_0 pi enennetään suhteessa b_0 mittaan



Kuvio 8: Laakerin $t=10$ $\alpha=0.01$ rad kuormitettavuus, kun sivumittaa a_0 pienennetään suhteessa b_0 mittaan



Kuvio 9: Laakerin $t=12$ $\alpha=0.01$ rad kuormitettavuus, kun sivumittaa a_0 pienennetään suhteessa b_0 mittaan

Taulukko 12: Laakereiden muotoluvut sekä $a_0 \times b_0$

Laakeri t=8		
a0	b0	S
320	320	10
300	320	9,68
280	320	9,33
260	320	8,97
240	320	8,57
220	320	8,15
200	320	7,69
180	320	7,2
160	320	6,67
140	320	6,09
120	320	5,45

Laakeri t=10		
a0	b0	S
320	320	8
300	320	7,74
280	320	7,45
260	320	7,17
240	320	6,85
220	320	6,52
200	320	6,15
180	320	5,76
160	320	5,33
140	320	4,86
120	320	4,36

Laakeri t=12		
a0	b0	S
380	380	9,5
360	380	9,24
340	380	8,97
320	380	8,68
300	380	8,38
280	380	8,06
260	380	7,72
240	380	7,35
220	380	6,96
200	380	6,55
180	380	6,11

Ohuet laakerit joiden kiertymäkyky on heikko suhteessa paksumpiin laakereihin pysyvät kuitenkin hoikempina kiertymään, kun kuormat pysyvät maltillisina. Laakerin paksuudesta riippumatta niiden kuormitettavuus on suurimmillaan, kun laakerin a_0/t suhde on n.22. Kaavioista on selkeästi kuitenkin nähtävissä, kun hoikkuutta kasvateetaan, kuormitettavuus lähtee kuitenkin putoamaan nopeasti.

Kaavioista löytyvät kuormitettavuuden laskenta-arvot on laskettu Leskelän 2009 raportin mitoitustavan mukaisesti. Laskenta esimerkki sekä periaate kuormituslaskelmista on esitetty liitteistä löytyvissä laskelmissa.

7 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli kehittää omaa tietämystä kumilevylaakereihin liittyen, sekä tarjota A-Insinöörit Suunnittelu Oy:n suunnittelijoille perustietoa kumilevylaakereiden mitoittamiseen liittyvistä ongelmakohtista ja tyypillisistä kompastuskivistä.

Kumilevylaakereiden mitoituksen haasteellisuus loi mielenkiintoisen pohjan lähteä perehtymään aiheeseen. Koen saaneeni sekä kumilevylaakereiden, että yleisesti rakenteiden mitoittamiseen uuden näkökulman perehtyessäni erilaisiin ongelmakohtiin joita kumilevylaakereissa on ilmennyt. Liittyvien rakenneosien vaikutuksen huomioiminen, niin ettei ainoastaan tarkastele kuormituksia joita kumilevylaakerin pitää siirtää. Esimerkiksi pilari-palkki liitoksessa palkin taipuman huomioiminen kumilevylaakerin kuormitettavuuteen loi mielenkiintoisen kuvakulman tutustua sekä itse laakerin, että liittyvien rakenneosien tarkasteluun.

Kumilevylaakereiden onnistuneessa mitoittamisessa pitää huomioida sekä laakerin geometrian tärkeys kuormitettavuuden kannalta, että liittyvien rakenteiden vaikutus laakerille tuleviin rasituksiin. Etenkin kiertymän tarkastelussa haasteellisuutta tuo yläpuoliset rakenteet joiden taipumalla on suora vaikutus kiertymän suuruuteen ja sitä kautta laakerin kuormitettavuuteen. Käytettäessä korkeita ja samalla lyhyitä palkkeja taipuma ja sitä kautta kiertymä eivät pääse kasvamaan samalla tavalla, kuin pitkillä ja matalilla palkeilla. Kumilevylaakerin liukukerointa kovuuden funktiona tarkastellessa tulee kiinnittää erityistä huomiota, että todellisuudessa käytettävän kumin kovuus täyttää laskennassa määritellyt arvot. ± 5 toleranssi valmistajien ilmoittamassa kumin kovuudessa tuottaa huomattavan eron kuormitettavuudessa, joten laskennassa olisi hyvä käyttää toleranssin sisältä alinta kovuuden arvoa jolloin kuormitettavuudessa oltaisiin varmalla puolella.

Haluan kiittää työnantajaani A-Insinöörit Suunnittelu Oy:tä mahdollisuudesta tutkia kumilevylaakereihin liittyviä ongelmakohtia sekä tehdä opinnäytetyön juuri heille. Kiitokset tekninen johtaja Olli Saariselle projektin aiheeseen perehdyttämisestä. Eri-tyiset kiitokset Viljami Ojanperälle teknisestä avusta työn aikana. Kiitokset myös lehtori Rauno Sandbergille työn ohjaamisesta.

Esittelemme tutkintotöiden tulokset A-Insinöörien asiantuntijoille webinaari-esityksessä, jossa käydään läpi kumilevylaakereiden toimintaa, sekä mitoittamista.

LÄHTEET

- /1/ SFS-EN 1337-3 2005. Rakennelaakerit. Osa 3: Kumilevyllaakerit. Helsinki, Suomen standardisoimisliitto SFS.
- /2/ Leskelä, M.V. 2009. Kumilevyllaakerien mitoittaminen. Oulu, Oulun yliopisto. Raportti RTL0105. 26 p
- /3/ SFS-EN 1990 + A1 + AC + NA 2006. Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki, Suomen standardisoimisliitto SFS.
- /4/ Laurila, T. 2007. Kumitekniikka: lyhyt johdatus kumitekniikan perusteisiin. Helsinki, Opetushallitus.
- /5/ Nokia 1988. Elastomeerien mahdollisuuksia. Nokia tekninen kumi. 101 s.
- /6/ SBK 1992. Runko BES Julkaisu 7: Liitokset. Helsinki, Suomen Betoniteollisuuden Keskusjärjestö
- /7/ Ravelast www-sivut. Viitattu: 14.03.2016 <http://www.ravelast.com>
- /8/ SFS-EN 1992-1-1 2005. Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto. 1+221 s.
- /9/ Eggert, H. & Kauschke, W. 2002. Structural Bearings. Germany, Ernst & Sohn. 393 p.
- /10/ Fise rakennusvirhepankin www-sivut. Kortti RVB-V-BE-21 Viitattu: 01.04.2016 <http://www.fise.fi>
- /11/ Betoninormikortti 23EC 2012. Liitosten mitoitus onnettomuuskuormille standardin SFS-EN1991-1-7 Yleiset kuormat, Onnettomuuskuormat mukaan. Helsinki, Suomen Betoniyhdistys r.y.
- /12/ Suomen Betoniyhdistys ry, 2005. Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus by 210. Helsinki: Libris Oy
- /13/ Kumilevyllaakerien suunnittelu 1979. Helsinki, Tie- ja vesirakennushallitus, Sillansuunnittelutoimisto.
- /14/ Lahti, Sakari: Raskaasti kuormitetun teräsbetonisen ulokkeen suunnittelu, Tampereen teknillinen yliopisto Diplomityö 2012

Pekka Miettinen

5.5.2015

Kumilevylaakerin laskenta:

Kumilevylaakerin kuormitettavuus kaavioiden laskennassa käytetyt periaatteet, sekä esimerkki laskelmat. Laskelmissa on käytetty pohjana kuormitusten, sekä geometrian osalta Porissa sijaitsevan liikerakennuksen pilari-palkkiliitosta. Laskelmissa tarkastellaan ainoastaan laakerin ominaisuuksia.

Liitoksen kuormitukset:

Yläpohja:

Omat painot:

Ontelolaatta + pintavalu 3.8kN/m²Vesikattorakenteet 1kN/m²

Hyötykuorma:

Lumikuorma: 2kN/m²

Palkki:

Palkin oma paino: 6.5kN/m

Pituus: 7.3m h*b: 680x380mm

Pk, ominaisarvo:39kN/m

Pd:49kN/m

P_{gk}: 143kN

Vd: 179kN

Pilari: 380x380mm

Kumilevylaakeri: 320x320mm Shore 60, tällöin laakerin a₀ ja b₀ mitoissa huomioitu suoja-
betoni C_{nom}:30mm

Laakerin laskenta käyttäen kiertymänä $\alpha=0.005\text{Rad}$, josta taipumarajaksi palkille $7.3\text{m } L/400=18\text{mm}$

$$G(h) = 0,07 \times 1,045^{60} = 0.98$$

$$S = \frac{320 \times 320}{2 \times 8(320 + 320)} = 10$$

$$d_c = \frac{8 \times 1.41}{10 \times 0.98 \times 10 + 2 \times 1.41} \leq 0,15 \times 8$$

$$\sigma_c = \frac{144000}{320 \times 320} = 1.41$$

$$0.11 \leq 1.2\text{mm} \quad \text{ok!}$$

$$0.17 + 1.82 \leq 2,5 \times 0.98$$

$$1.99 \leq 2.45 \quad \text{ok!}$$

$$\tau_c = 4.73 \times \frac{8}{320} \frac{144000}{320 \times 320} = 0.15$$

$$\tau_r = 0.005 \times 0.464 \frac{0.98}{2} \left(\frac{320}{8}\right)^2 = 1.93$$

$$\gamma_{\max} = 0.4 + 0.29 \leq 0,7$$

$$0.69 \leq 0.7 \quad \text{ok!}$$

$$\gamma_s = \frac{28.8 \times 10^3}{0.98 \times 320 \times 320} = 0.29$$

$$\gamma_L = 0.4$$

$$H_k = 144 \text{ kN} \times 0.2 = 28.8 \text{ kN}$$

$$H_k \leq \frac{144000 + 4 \times 0.98 \times 320 \times 320}{7}$$

$$28.8 \text{ kN} \leq 77.9 \text{ kN} \quad \text{ok!}$$

$$H_k \leq 0.4 \times 144000$$

$$28.8 \text{ kN} \leq 57.6 \text{ kN} \quad \text{ok!}$$

$$\Delta_c = \frac{8 \times 1.9 \times 144000}{8 \times 1.23 \times 320 \times 320 \times 10 + 2 \times 1.9 \times 144000} \leq \Delta_{c,\text{lim}}$$

$$0.2 \text{ mm} \leq 3 \text{ mm} \quad \text{ok!}$$

$$G_r(h) = 0.98 \times 1.25 = 1.23$$

$$s_f^{(s)} = \left(\frac{10}{4.7}\right)^{0.3} = 1.25$$

$$P_{k,1} = \frac{2 \times 0.98 \times 320 \times 320 \times 10}{1 + 1.7 \times 0.005 \times \frac{320}{8}} = 1497 \text{ kN}$$

$$P_{k,2} = \frac{0.98 \times 320 \times 320}{4.73} \times \frac{320}{8} \left(2.5 - 0.5 \times 0.005 \times 0.464 \times \left(\frac{320}{8}\right)^2\right) = 548 \text{ kN}$$

$$P_{k,3} = \frac{8 \times 3 \times 1.23 \times 320 \times 320 \times 10}{(8 - 2 \times 3) \times 1.9} = 7954 \text{ kN}$$

$$P_k = \min \{P_{k1}, P_{k2}, P_{k3}\}$$

$$1497 \text{ kN}, \mathbf{548 \text{ kN}}, 7954 \text{ kN}$$

Laakerin kuormitettavuus **548 kN** kiertymäkulmalla 0.005

**Laakerin laskenta käyttäen kiertymänä $\alpha=0.01\text{Rad}$, josta taipumarajaksi palkille 7.3m
 $L/200=36.5\text{mm}$**

$$G(h) = 0,07 \times 1,045^{60} = 0.98$$

$$S = \frac{320 \times 320}{2 \times 8 (320 + 320)} = 10$$

$$S = \frac{320 \times 320}{2 \times 12 (320 + 320)} = 6.7$$

$$d_c = \frac{8 \times 1.41}{10 \times 0.98 \times 6.7 + 2 \times 1.41} \leq 0,15 \times 8$$

$$d_c = \frac{12 \times 1.41}{10 \times 0.98 \times 6.7 + 2 \times 1.41} \leq 0,15 \times 12$$

$$\sigma_c = \frac{144000}{320 \times 320} = 1.41$$

$$0.24 \leq 1.8\text{mm} \quad \text{ok!}$$

$$0.17 + 3.87 \leq 2,5 \times 0.98$$

$$4.04 \leq 2.45 \quad \text{ei ok} \rightarrow \text{laakerin kovuutta tai paksuutta kasvatettava!}$$

$$0.23 + 1.72 \leq 2,5 \times 0.98$$

$$1.95 \leq 2.45 \quad \text{ok!}$$

$$\tau_c = 4.73 \times \frac{8}{320} \frac{144000}{320 \times 320} = 0.17$$

$$\tau_c = 4.73 \times \frac{12}{320} \frac{144000}{320 \times 320} = 0.23$$

$$\tau_r = 0.01 \times 0.464 \frac{0.98}{2} \left(\frac{320}{8}\right)^2 = 3.87$$

$$\tau_r = 0.01 \times 0.464 \frac{0.98}{2} \left(\frac{320}{12}\right)^2 = 1.72$$

$$\gamma_{\max} = 0.4 + 0.27 \leq 0.7$$

0.67 ≤ 0.7 ok!

$$\gamma_s = \frac{28.8 \times 10^3}{0.98 \times 330 \times 330} = 0.27 \qquad \gamma_L = 0.4$$

$$H_k = 144 \text{ kN} \times 0.2 = 28.8 \text{ kN}$$

$$H_k \leq \frac{144000 + 4 \times 0.98 \times 320 \times 320}{7}$$

$$28.8 \text{ kN} \leq 81.6 \text{ kN} \qquad \text{ok!}$$

$$H_k \leq 0.4 \times 144000$$

$$28.8 \text{ kN} \leq 57.6 \text{ kN} \qquad \text{ok!}$$

$$\Delta_c = \frac{12 \times 1.9 \times 144000}{12 \times 1.23 \times 320 \times 320 \times 6.7 + 2 \times 1.9 \times 144000} \leq \Delta_{c,\text{lim}}$$

$$0.3 \text{ mm} \leq 3 \text{ mm} \qquad \text{ok!}$$

$$G_r(h) = 0.98 \times 1.11 = 1.09$$

$$s_f^{(s)} = \left(\frac{6.7}{4.7}\right)^{0.3} = 1.11$$

$$P_{k,1} = \frac{2 \times 0.98 \times 320 \times 320 \times 6.7}{1 + 1.7 \times 0.01 \times \frac{320}{12}} = 923 \text{ kN}$$

$$P_{k,2} = \frac{0.98 \times 320 \times 320}{4.73} \times \frac{320}{12} \left(2.5 - 0.5 \times 0.01 \times 0.464 \times \left(\frac{320}{12} \right)^2 \right) = 481 \text{ kN}$$

$$P_{k,3} = \frac{8 \times 3 \times 1.09 \times 320 \times 320 \times 6.7}{(12 - 2 \times 3) \times 1.9} = 1567 \text{ kN}$$

$$P_k = \min \{ P_{k,1}, P_{k,2}, P_{k,3} \}$$

923 kN, **481 kN**, 1567 kN

Laakerin kuormitettavuus **481 kN** kiertymäkulmalla 0.01, paksuus tällöin 12 mm

Laakerin laskenta käyttäen todellisesta taipumasta saatua kiertymää

Palkin kokonaistaipuma: 23.5 mm

Palkin kiertymäkulma tällöin: 0.0065 Rad

$$G(h) = 0.07 \times 1.045^{60} = 0.98$$

$$S = \frac{320 \times 320}{2 \times 8 \times (320 + 320)} = 10$$

$$d_c = \frac{8 \times 1.41}{10 \times 0.98 \times 10 + 2 \times 1.41} \leq 0.15 \times 8$$

$$\sigma_c = \frac{144000}{320 \times 320} = 1.41$$

$$0.11 \leq 1.2 \text{ mm} \quad \text{ok!}$$

$$0.17 + 2.18 \leq 2.5 \times 0.98$$

$$2.35 \leq 2.45 \quad \text{ok!}$$

$$\tau_c = 4.73 \times \frac{8}{320} \frac{144000}{320 \times 320} = 0.17$$

$$\tau_r = 0.0065 \times 0.464 \frac{0.98}{2} \left(\frac{320}{8}\right)^2 = 2.18$$

$$\gamma_{\max} = 0.4 + 0.29 \leq 0,7$$

$$0.69 \leq 0.7 \quad \text{ok!}$$

$$\gamma_s = \frac{28.8 \times 10^3}{0.98 \times 320 \times 320} = 0.29 \quad \gamma_L = 0.4$$

$$H_k = 144 \text{ kN} \times 0.2 = 28.8 \text{ kN}$$

$$H_k \leq \frac{144000 + 4 \times 0.98 \times 320 \times 320}{7}$$

$$28.8 \text{ kN} \leq 77.9 \text{ kN} \quad \text{ok!}$$

$$H_k \leq 0.4 \times 144000$$

$$28.8 \text{ kN} \leq 57.6 \text{ kN} \quad \text{ok!}$$

$$\Delta_c = \frac{8 \times 1.9 \times 144000}{8 \times 1.23 \times 320 \times 320 \times 10 + 2 \times 1.9 \times 144000} \leq \Delta_{c,\text{lim}}$$

$$0.2 \text{ mm} \leq 3 \text{ mm} \quad \text{ok!}$$

$$G_r(h) = 0.98 \times 1.25 = 1.23$$

$$s_f^{(s)} = \left(\frac{10}{4.7}\right)^{0.3} = 1.25$$

$$P_{k,1} = \frac{2 \times 0.98 \times 320 \times 320 \times 10}{1 + 1.7 \times 0.0065 \times \frac{320}{8}} = 1395 \text{ kN}$$

$$P_{k,2} = \frac{0.98 \times 320 \times 320}{4.73} \times \frac{320}{8} \left(2.5 - 0.5 \times 0.0065 \times 0.464 \times \left(\frac{320}{8} \right)^2 \right) = 76 \text{ kN}$$

$$P_{k,3} = \frac{8 \times 3 \times 1.23 \times 320 \times 320 \times 10}{(8 - 2 \times 3) \times 1.9} = 7954 \text{ kN}$$

$$P_k = \min \{ P_{k,1}, P_{k,2}, P_{k,3} \}$$

1395 kN, **76 kN**, 7954 kN

Laakerin kuormitettavuus **76 kN** kiertymäkulmalla 0.0065, paksuudella 8 mm

Jos laakerin paksuutta kasvatetaan niin, että laakeri on 10 mm, kuormitettavuus tällöin **651 kN**. Tällöin laakerin kuormitettavuus sallii kumin kovuuden vaihtelun toleranssin sisällä.

Kuormitettavuuden kaavioissa olevat arvot on laskettu näiden esimerkkien laskentaperiaatteella muuttaen tutkittavan vaikutusarvon suuruutta, jolloin laskennasta on saatu kaavioissa olevat kuormitettavuuden arvot.