

**TERÄSLEVYJEN PAKSUUSSUUNTAISET OMINAISUUDET,
Z-LEVYT JA LAMELLIREPEILY**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

HAMK Visamäki, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Kevät 2017

Lauri Vanhala

Rakennustekniikan koulutusohjelma
Visamäki

Tekijä	Lauri Vanhala	Vuosi 2017
Työn nimi	Teräslevyjen paksuussuuntaiset ominaisuudet, Z-levyt ja lamellirepeily	
Työn ohjaaja/t	Jarmo Havula, Zhongcheng Ma	

TIIVISTELMÄ

Tämän työn tavoitteena on tuoda esille lamellirepeily ilmiö ja kuinka sitä voidaan ehkäistä. Olennaisena esiin nousee Z-levyn mitoittaminen, jossa kiinnitetään huomiota levyn paksuussuuntaisiin ominaisuuksiin. Opinnäytetyön tilaajana toimi A-Insinöörit Oy, joiden toive oli saada yrityksen sisälle yhtenäinen linjaus ilmiöön suhtautumisen kannalta.

Opinnäytetyön keskeinen sisältö on lamellirepeilystä ilmiönä, kuinka rakennusstandardit huomioivat lamellirepeilyn, Z-levyjen käytöstä riskialteissa liitoksissa ja Z-arvon laskenta, lamellirepeilylle alttiit liitokset ja ratkaisut, sekä kysely ilmiön tunnettavuudesta. Työssä tuodaan myös esille ultraäänitutkimusten hyödyntämistä lamellirepeilyriskin kartoituksessa. Tietoa kerättiin rakennusstandardeista koskien Suomea, tutkimusjulkaisuista, haastatteluista ja erinäisistä käsikirjoista, sekä esitteistä.

Tuloksena saatiin varsin kattava esitys lamellirepeilystä ja sen ehkäisemisestä, sekä ohjeistus ilmiöön suhtautumisesta. Selvää rajaa ei saatu selvitettyä ultraäänitutkimusten kattavuudesta lamellirepeilyn ehkäisyssä, ja jatkossa on syytä toimia Suomessa kansallisen liitteen mukaan, joka käskää turvautumaan Z-levyyn. Tästä lisätutkimuksena voitaisiin kuitenkin selvittää tarkemmin ultraäänitutkimusten soveltuvuutta korvaamaan Z-levyjen käyttöä.

Avainsanat z-levyt, lamellirepeily, paksuussuuntaiset ominaisuudet, ultraäänitutkimus

Sivut 47 sivua, joista liitteitä 8 sivua

Degree Programme in Construction Engineering
Visamäki

Author	Lauri Vanhala	Year 2017
Subject	Through-thickness properties of steel, Z-qualities and lamellar tearing	
Supervisors	Jarmo Havula, Zhongcheng Ma	

ABSTRACT

The aim of this Bachelor's thesis was to highlight the phenomenon of lamellar tearing and how can it be avoided. An essential point is the determination of Z-value, which draws attention to the through-thickness properties of steel. The thesis was commissioned by A-Insinöorit Oy, whose desire was to get a consistent approach to the phenomenon within the company.

The thesis discusses the phenomenon of lamellar tearing, how the building standards take the phenomenon into account, the use of Z-plates in connections exposed to lamellar tearing and calculation of Z-value and risky connections for lamellar tearing and solutions. In addition, an inquiry was conducted on the awareness of the phenomenon. Using ultrasonic testing to find out the lamellar tearing was also dealt with. Information was collected from building standards regarding Finland, research publications, interviews, various manuals and brochures.

As a result of the thesis a fairly comprehensive overview of lamellar tearing was obtained including its prevention and guidelines on the approach to the phenomenon. No clear boundaries for the ultrasonic testing in preventing lamellar tearing was obtained. There is a need to continue to work according to the National Annex in Finland, which commands to resort to Z-plates. Further studies could be conducted to find out more about the suitability of ultrasonic examinations to replace the use of Z-grade steel.

Keywords lamellar tearing, z-quality, steel defect, ultrasonic testing

Pages 47 pages including appendices 8 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	LAMELLIREPEILY ILMIÖNÄ JA SEN TAUSTA	1
2.1	Lamellirepeily	1
2.2	Vaurion syntyminen	3
2.3	Materiaalin merkitys ja materiaaliominaisuuksien parantaminen.....	4
2.4	Repeilyn muoto ja tunnistettavuus.....	5
2.5	Liitoksen geometrian vaikutus ja väsymiskuormitus	6
2.6	Lamellirepeilyltä välttyminen.....	6
3	ILMIÖN TUNNETTAVUUS.....	8
3.1	Kyselyn luonti	8
3.2	Kyselyn tulokset ja päätelmät	9
4	LAMELLIREPEILYRISKIN MÄÄRITTÄMINEN	10
4.1	Lamellirepeily standardissa	10
4.2	Lamellirepeilyriskin arviointi	10
4.2.1	Lamellirepeilykestävyyden, Z_{Rd} :n määrittäminen	12
4.2.2	Z_{Ed} :n laskenta	13
4.2.3	Hitsin korkeuden vaikutus (Z_a).....	16
4.2.4	Hitsin sijainnin ja muodon vaikutus (Z_b).....	16
4.2.5	Ainepaksuuden s vaikutus (Z_c).....	17
4.2.6	Hitsin ympäröivien osien kiinnitysaste (Z_d)	17
4.2.7	Esikuumennuksen vaikutus (Z_e).....	18
4.2.8	Esimerkkilaskuja	18
5	MATERIAALIVALINTA.....	20
5.1	Z-levyt.....	20
5.2	Käyttökohteet.....	20
5.3	Soveltuvat teräslajit.....	21
5.4	Rakenneputket	21
5.5	Korvaus ultraäänitutkimuksilla.....	22
5.6	Hinta ja saatavuus	24
5.7	Z-levyjen nimikkeen luonti	25
6	TYYPILLISET LAMELLIREPEILYLLE ALTTIIT LIITOKSET JA RATKAISUT	26
6.1	Hitsauksen merkitys	26
6.1.1	Parempaan hitsin suoritustavan valitseminen.....	27
6.1.2	Hitsien todentaminen konepajoilla	29
6.2	Kootut yleisimmät liitokset	30
7	YHTEENVETO	36
	LÄHTEET.....	38

Liitteet

Liite 1	Kyselyn rakenne
Liite 2	Laatuluokan valinta

1 JOHDANTO

Teräslevyjen paksuussuuntaisten ominaisuuksien huomioiminen on osa teräsrakenteiden suunnittelua. On olemassa rakenteita, joissa huomion kiinnittäminen niihin on välttämätöntä ja lamellirepeilyn kartoitus nousee vahvasti esille.

Tässä työssä tuon esille lamellirepeily ilmiön ja minkälaisia asioita liittyy sen välttämiseen. Lamellirepeilyyn liittyvät tarkastelut ja laskenta saattavat jäädä epähuomiossa tekemättä, sen ollessa vain pieni osa teräsrakenteiden suunnittelua. Lamellirepeily on ilmiönä hyvin harvinainen, eikä viimevuosikymmeninä ole todettu onnettomuuksia tai suurempia vaurioita lamellirepeilyn johdosta. On kuitenkin tärkeää tiedostaa ilmiö ja pitää yllä sama tilanne myös tulevaisuudessa.

Työn tilaajana toimii A-Insinöörit ja tavoitteena on tuoda lamellirepeilyriskiin liittyvät tarkastelut pinnalle teräsrakenteiden suunnittelijoiden keskuudessa ja lisätä tietoisuutta, minkälaisissa tilanteissa ilmiö esiintyy. Tämän lisäksi luon Z-arvon määrittämiseen yksinkertaistetun ohjeistuksen ja laskentapohjan A-Insinöörit Oy:n sisälle. Työhön tutustujien toivon saavan hyvän käsityksen mitä lamellirepeilyssä tapahtuu ja kuinka sitä vältetään.

2 LAMELLIREPEILY ILMIONÄ JA SEN TAUSTA

Tässä kappaleessa käydään läpi mitä lamellirepeilystä suunnittelijan on hyvä tietää, kuitenkin menemättä enempää kemialliselle tasolle. Ensimmäisenä kerrotaan mitä lamellirepeily tarkoittaa, jonka jälkeen paneudutaan vaurion syntymiseen, materiaalin merkitykseen, kuinka lamellirepeilyn tunnistaa, ja miltä se näyttää. Esitellään lopuksi liitoksien tyyppisiä, jotka ovat erityisen alttiita lamellirepeilylle ja vaativat enemmän huomiota, ja viimeiseksi kuinka tältä koko ilmiöltä voidaan välttyä.

2.1 Lamellirepeily

Valssattu teräslevy ei ole homogeeninen materiaali, vaikka silmämääräisesti näin voisi olettaa. Tämä johtuu valssauksen puristaessa mikrorakenne tasolla metalliseoksen rakeet siten, että ne tulevat limittäin keskenään pitkiksi ja ohuiksi valssaussuuntaisesti. Tästä johtuu levyn lamellimainen rakenne. (SIGNS 2009.)

Lamellirepeilyllä tarkoitetaan pinnansuuntaista murtumista teräslevyissä. Teräslevyjen sitkeys ja muodonmuutoskyky ovat huonoimmillaan levyn

paksuussuunnassa. Jos teräksen muodonmuutoskyky ei ole riittävä, varsinkin lujilla teräslajeilla, saattaa hitsatuissa liitoksissa esiintyä lamellirepeilyä. Lamellirepeilyä syntyy vetojännityksen kohdistuessa levyyn sen pintaa vastaan kohtisuorassa suunnassa, eli levyn paksuussuunnassa. Vetojännitystä aiheuttavat valmistuksessa hitsauksesta aiheutuvat kutistumisjännitykset, sekä ulkoisen kuormituksen aiheuttamat vetojännitykset. (Ongelin & Valkonen 2016, 329). Repeily voi esiintyä hitsausseaman ulkotali sisäreunassa liittyen aina pisteisiin, joissa syntyy suurimmat jännitykset. (TWI 2017). Tyypillisesti lamellirepeily tapahtuu lähellä hitsin muutosvyöhykettä HAZ (HAZ = heat affected zone), mutta voi myös esiintyä syvemmällä aina levyn pohjaan saakka. (Farrar & Dolby 2001, 4.) Lamellirepeily havaitaan yleensä hitsausten jälkeisten ultraäänitutkimuksien yhteydessä. Kuvat 1 ja 2 havainnollistavat lamellirepeilyä. Nuolet näyttävät vetojännityksen suunnan T-liitoksessa ja vaakasuuntainen musta sahakuviointi kohdan johon lamellirepeily syntyy.

Lamellirepeilyalttiuteen vaikuttavat: (Ongelin & Valkonen 2016, 328).

- Materiaalin paksuussuuntaiset ominaisuudet ja kemiallinen koostumus
- Liitoksen rakenne ja muotoilu
- Liitoksen ympäröivän rakenteen jäykkyys (hitsauskutistumisen estyminen)
- Hitsauksen suoritus
- Liitokseen kohdistuvan kuormituksen suunta ja suuruus.

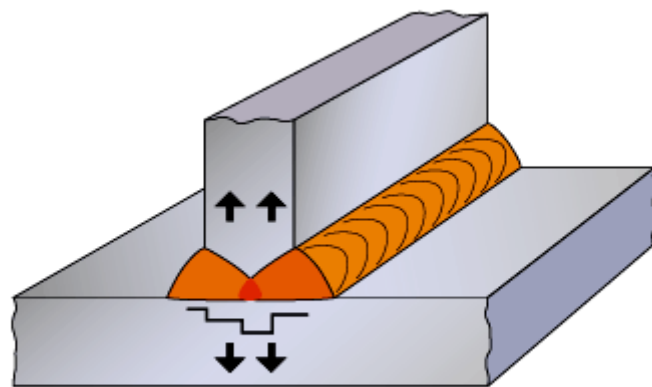
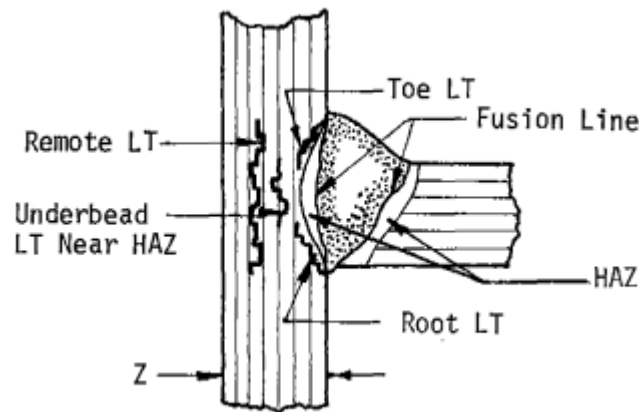


Fig. 1. Lamellar tearing in T butt weld

Kuva 1. Lamellirepeilyn havainnollistaminen T-liitoksessa. (TWI 2017).

Kuvassa 2 esitetään tarkemmin paikat, johon lamellirepeily syntyy. "Remote LT" näyttää kauempana syntyvän repeilyn, "Underbead LT Near HAZ" suoraan hitsin alapuolella tapahtuvan repeilyn HAZ:n lähellä "Toe LT" hitsauksen sisäsaumassa ja "Root LT" ulkosaumassa tapahtuvan repeilyn. (Sommella 1979, 2-1.)



Kuva 2. Lamellirepeilyn syntymäpaikat (Sommella 1979, 2-1).

Ilmiö on nykypäivänä hyvin harvinainen teräslujuuksien ja ominaisuuksien parantuessa, mutta täysi laiminlyönti ilmiön huomioimiseen saattaa aiheuttaa pahimmassa tapauksessa lamellirepeilyn ja liitoksen kantokyvyn menetyksen, mikä voi johtaa laajempaankin vaurioon.

2.2 Vaurion syntyminen

Jotta lamellirepeilyä voisi tapahtua, on seuraavien kolmen ehdon täyttyvä: (Sommella 1979, 3-1).

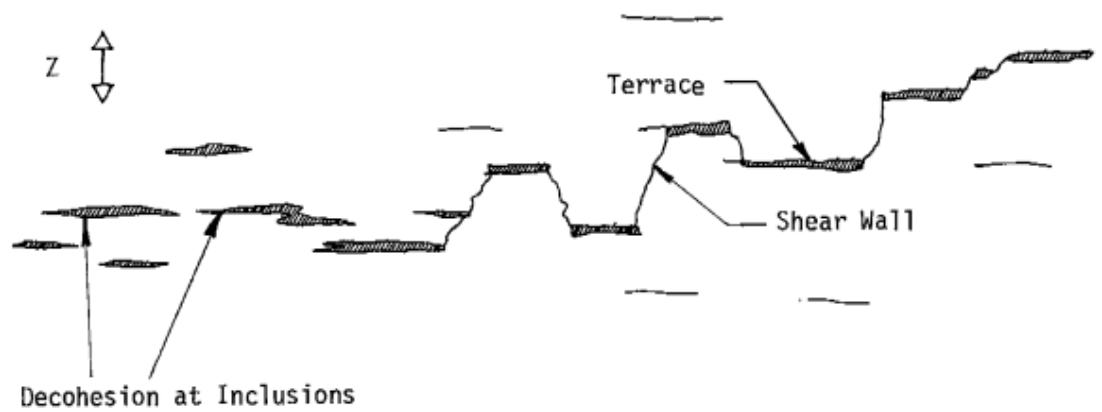
- Materiaalilla on oltava taipumus lamellirepeilyyn ja sillä on oltava huonot paksuussuuntaiset ominaisuudet
- Hitsauksen yhteydessä on synnyttävä kutistumaa, joka vaikuttaa levyn koko paksuudeltaan. Paksuussuuntaista kutistumaa tapahtuu, kun hitsin sulan rajapinta on yhdensuuntainen levyn pinnan kanssa.
- Hitsausseaman suunnittelun on annettava mahdollisuus paksuussuuntaisten jännityksien kehittymiseen. Nämä jännitykset ovat yleensä seurausta hitsimetallien kutistumasta saumassa, mutta jännitykset voivat lisääntyä entisestään muiden hitsausseamojen johdosta.

Lamellirepeilyn tapahtumiseksi on tapahduttava kriittinen kombinaatio huonon materiaalin, hitsaus prosessin ja hitsausseaman suunnittelun kesken, jotka antavat yhdessä mahdollisuuden suurten paksuussuuntaisten jännitysten syntymiselle. (Sommella 1979, 3-1.)

Koska lamellirepeily johtuu osittain epäpuhtaus keskittymistä teräksessä, jotka jakautuvat hieman epätasaisesti, tapahtuu repeily säröinä ja säröt yhdistyvät tasojen välillä porrasmaisesti (TWI 2017). Lamellirepeilyn syntymän voi jakaa kolmeen eri vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa muodostuu aukkoja tai repeämiä sisäisten vetovoimien takia levyyn yksittäisten pitkänomaisten ei-metallisten epäpuhtauksien tai epäpuhtausryhmien hajoamisen tai murtumien kautta, jotka ovat samansuuntaisia levyn pinnan kanssa. Vaikka ollaan raportoitu myös muista tavoista aukkojen

muodostumiselle, voidaan pitää edellä mainittua skenaariota päämekanismina. Ensimmäinen vaihe tapahtuu luultavasti elastisella vyöhykkeellä, jossa alkuvaiheen syntymisen edellyttämä jännitys riippuu epäpuhtauksien tyypistä, muodosta ja jakautumisesta. (Sommella 1979, 3-1;3-2.)

Toisessa vaiheessa syntyneet aukot tai repeämät samalla lamellitasolla laajenevat ja yhdistyvät keskenään muodostaen törmä (Terrace = törmä)(Kuva 3). Tarkemmin sanottuna nämä törmät syntyvät edellisten hitsausaumojen viilentymisen johdosta, jolloin aukkojen välille syntyy murtovenymiä, jotka yhdistyvät keskenään. Jännityksien lisääntyessä materiaalin nivelsiteet aukkojen välillä muuttuvat täysin plastisiksi ja repeämät kasvavat yhä suuremmiksi. (Sommella 1979, 3-2.)



Kuva 3. Repeämän synty epäpuhtauksien välillä (Sommella 1979, 3-2).

Kolmannessa ja viimeisessä vaiheessa törmien väliset seinämät (Kuvassa 3: Shear Wall) muodostuvat törmien välille. Seinämät muodostavat tunnusomaisen porrasmaisen ulkomuodon tähän juuri syntyneeseen lamellirepeämään. (Sommella 1979, 3-3.)

2.3 Materiaalin merkitys ja materiaaliominaisuuksien parantaminen

Riski lamellirepeilyyn on korkeampi mitä korkeampi on hitsimetallin vedyn ja teräslevyn epäpuhtauksien määrä. Lamellirepeilyyn ei niinkään vaikuta suoranaisesti teräksen lujuus, vaan se lähtee liikkeelle epäpuhtauksista. Mangaanisulfidit, oksidit ja rikki ovat esimerkkejä aineista, joita pidetään epäpuhtauksina teräksissä. (Krankkala 2017.)

Teräksen eri luokkien välillä ei ole todettu olevan enempää tai vähempää alttiutta lamellirepeilylle. Suuremmilla teräksen lujuuksilla on kuitenkin todettu teräksen pienillä virheillä olevan enemmän alttiutta lamellirepeilyyn kuin matalammilla lujuusluokilla, koska muokattavuus kärsii suuremmilla teräslujuuksilla. Suuremmilla lujuuksilla päästään ohuempiin levyihin, joka saattaa taas poistaa lamellirepeilyn riskiä. (Farrar & Dolby 2001, 10.)

Erityisesti rikin ainepitoisuuden laskemisella mahdollisimman alhaiseksi voidaan vaikuttaa paksuussuuntaisiin ominaisuuksiin (TWI 2017). Teräslle voidaan myös niiden valmistuksen yhteydessä tehdä erilaisia toimenpiteitä paksuussuuntaisten ominaisuuksien parantamiseksi. Sulan teräksen rikkipitoisuuden pienentämisen lisäksi seos saatetaan sellaiseksi, että kuona muodostuu pallomaiseen muotoon. Kuonassa epäpuhtaudet kuten rikkifosfori ja mangaanisulfidit eivät ole pitkäketjuisia ja lamellimaisia, vaan pysyvät kontrolloituina ja pieninä. Aihoiden valujen aikana sulaa seosta kuormitetaan mekaanisesti, jotta lamellimaisuus häviää teräksestä. Sulan jähmettyessä mekaaninen kuormitus tekee jähmettymisen rajapinnasta vähemmän selkeän. (Krankkala & Pokkinen 2017.)

2.4 Repeilyn muoto ja tunnistettavuus

Lamellirepeily saattaa esiintyä levyn sisällä vaikeasti havaittavana, tai täysin näkyvästi levyn reunoilla silmämääräisesti todettavana. Lamellirepeily saattaa olla pituudeltaan muutamasta millimetristä jopa useampaan metriin, ja leveys on yleensä lähellä hitsin leveyttä. Halkeaman paksuus voi vaihdella hiuksen paksuudesta noin 1 millimetrin paksuuteen.

Lamellirepeillyt pinta on muodoltaan kuin puu pitkillä syillä, jotka osoittavat alhaisen perusmetallin sitkeyden paksuussuunnassa (Kuva 4). Tämän kaltainen repeily antaa hyvin uniikin pinnan, jonka erottaa helposti muista teräksen halkeilutyypeistä, kuten hitsin HAZ:n kohdalla vedyn johdosta tapahtuvasta halkeilusta. (Sommella 1979, 2-2.)

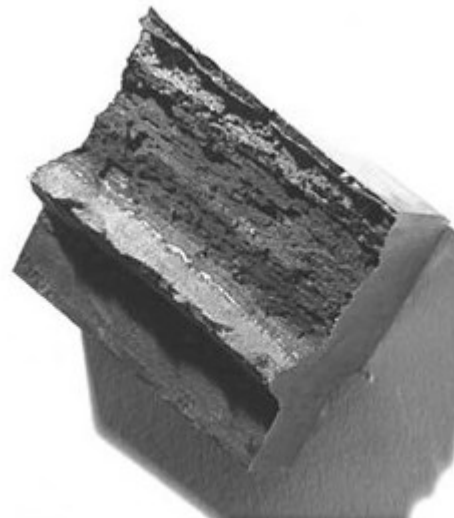


Fig. 2. Appearance of fracture face of lamellar tear

Kuva 4. Lamellirepeillyt pinta. (TWI 2017)

2.5 Liitoksen geometrian vaikutus ja väsymiskuormitus

Lamellirepeilylle erityisen herkkiä ovat jäykät hitsatut ristiliitokset, sekä L- ja T-liitokset, koska niissä voi esiintyä suuria paksuussuuntaisia jännityksiä (Ongelin & Valkonen 2016, 329). Nämä liitokset tulevat helposti esiin suunniteltaessa yksinkertaisiakin profiileja ja rakenteita, kuten hitsattuja kotelopalkkeja ja muita koottuja komponentteja, tai sitten monimutkaisempiakin liitoksia. (SIGNS 2009.) Enemmän lamellirepeilylle herkistä liitoksista esitetään luvussa 6.

Väsymiskuormituksella ei olla huomattu olevan lamellirepeilyyn johtavaa piirrettä. Mikäli teräslevyllä on alttiutta lamellirepeilyyn, voi väsymiskuormitus tätä edesauttaa. Z-testatulla levyllä tarkoitetaan sen käyneen tehtaalla läpi ultraäänitarkastukset ja paksuussuuntaisen vetokoetuksen. Lähtökohtaisesti varsinkin näillä Z-testatuilla levyillä hitsaussaumamat ovat heikompa tekoo kuin teräslevyn lamellien väliset sidokset, joten väsymiskuormituksessa vaurio alkaa ensimmäisenä hitseissä. Levy on myös herkkänä lamellirepeilylle särmyksessä, jossa särmyslinjasta voi levy ”paukahtaa” poikittaisen jännityksen johdosta ja ilmentyä lamellirepeilynä. (Krankkala & Pokkinen 2017.)

2.6 Lamellirepeilyltä välttyminen

Lamellirepeilyä vältetään huolellisella rakenteen suunnittelulla. Avain asemassa ovat teräslitoksen yksityiskohdan valinta, oikeanlaisten hitsien valitseminen ja materiaalin valinta. Lamellirepeilyn riskikartoittamiseen käytetään Z-arvon laskentaa. Z-arvo kuvaa kuinka suuri lamellirepeilyn riski on. Laskemisesta kerrotaan tarkemmin luvussa 4.2. Mikäli laskennassa saadaan tarpeeksi suuri Z-arvo, tulee rakenteessa käyttää Z-levyä. Z-levy on testattu teräslevy parannetuilla paksuussuuntaisilla ominaisuuksilla. Z-levyistä enemmän luvussa 5.

Yleensä lamellirepeilyä tapahtuu hitsauksien jälkeen kutistumisjännityksien johdosta. Nämä tapaukset voidaan kartoittaa konepajoilla suorite- tuilla ultraäänitutkimuksilla hitsauksien jälkeen. (Ongelin & Valkonen 2016.)

Standardi kehottaa ottamaan seuraavat asiat huomioon teräsosia tai liitosten teräksiä valittaessa: (SFS-EN 1993-1-10/2005, 13)

- Rakenneyksityiskohdan sijainnin kriittisyys ottaen huomioon vaikuttava vetojännitys ja staattisen määräämättömyyden aste.
- Rakenneosan, johon liitos tehdään, paksuussuuntainen venymä. Tämä venymä syntyy hitsimetallin kutistumisesta sen jäähtyessä. Venymä kasvaa merkittävästi, kun rakenteen muut osat estävät vapaan liikkeen.
- Yksityiskohdan tyyppi, erityisesti hitsatut ristiliitokset sekä T- ja nurkkaliitokset. Lamellirepeilyä esiintyy todennäköisemmin, jos venymät

kiinnityksessä vaikuttavat materiaalin paksuussuunnassa, joka esiintyy, jos railon kylki on likipitään yhdensuuntainen materiaalin pinnan kanssa ja kutistumisesta syntyvä venymä on kohtisuorassa materiaalin valssaussuuntaan nähden. Mitä suurempi hitsi on, sitä suurempi on herkkyys lamellirepeilylle.

- Kuormitetun materiaalin kemiallinen koostumus valssaussuuntaa vastaan kohtisuorassa suunnassa. Erityisesti korkea rikki pitoisuus, vaikka se on merkittävästi tavallisissa teräksen tuotestandardeissa esitettyjen rajojen alapuolella, voi kasvattaa lamellirepeilyä.

3 ILMIÖN TUNNETTAVUUS

Lamellirepeilyn tiedostaminen on hyvin pieni osa rakennesuunnittelua, ja se on saattanut jäädä pimentoon kokeneemmiltakin suunnittelijoilta, jotka eivät usein joudu mitoittamaan teräsrakenteita. Tällaiset pienemmät tarkastelut voivat vahingossa unohtua tekemättä.

Teetäin kyselyn kartoittaakseni kuinka lamellirepeilystä ja Z-levyn laskeamisesta ollaan yleisesti tietoisia alalla, jonka pistin jakoon sähköpostin kautta rakennesuunnittelun parissa työskenteleville suunnittelijoille. Kyselyn tavoitti kaikkiaan 31 suunnittelijaa.

3.1 Kyselyn luonti

Teetäin kyselyn netissä osoitteessa www.surveymonkey.fi. Pystyn kyseisellä kyselypalvelulla luomaan helposti ja nopeasti omat kysymykset valmiisiin pohjiin, sekä analysoimaan vastauksia. Tässä kyselyssä loin seitsemän vaihtoehto kysymystä (LIITE 1).

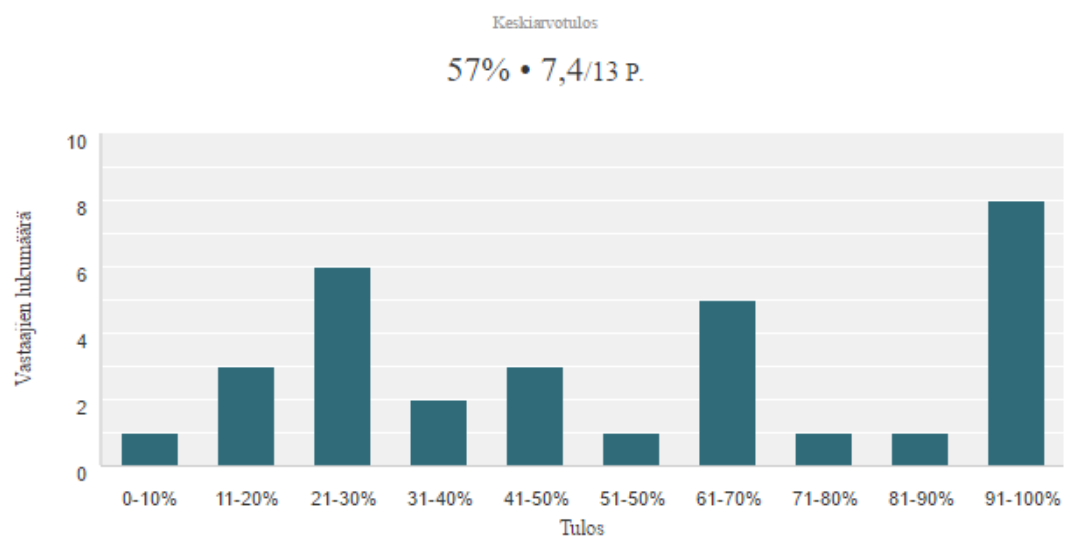
Kysymykset olivat seuraavanlaisia ja oikea/hyvä vastaus on vahvistettu:

- Tiedätkö minkälaisissa tilanteissa tulisi harkita Z-levyä? (Z15, Z25 tai Z35)
 - En; **Kyllä**; Tiedän ainakin yhden tapauksen, jossa käytän
- Tiedätkö mitä on lamellirepeily?
 - En; **Kyllä**
- Oletko laskenut Z-arvoa teräslevyille?
 - En; **Kyllä**; Kuinka sen voi laskea?
- Kuinka olet toiminut tilanteissa, joissa teräslevyihin on kohdistunut vetoa paksuussuunnassa? –Mitoitan terälevyn paksuuden rakenteen toimivuuden kannalta, ...
 - ...mutten ole tietoinen lamellirepeilyn riskistä; ...ja valitsen aina varmuuden vuoksi jonkin Z-arvoa omaavan levyn esim. Z15; ...**ja mitoitan Z-arvon ja sen perusteella valitsen Z-levyn, mikäli on tarvetta**
- Näyttääkö alla oleva taulukko tutulta? (Esillä LIITE1)
 - Ei; Kyllä, mutten ole käyttänyt; **Kyllä, ja olen käyttänyt**
- Vastaan tulee tilanne, jossa tarvitaan teräslevy, mutta levyn paksuuden ei ole välttämättä rakenteen toimivuuden kannalta merkitystä esim. teräsprofiilien yhdistyminen L-liitoksessa, ja väliin tarvitaan levy. Mitä teet?
 - **Valitsen levyn, joka on paksuudeltaan 15mm tai alle**; Pistän varmuuden vuoksi hieman paksumman levyn esim. 20mm; En ole koskaan joutunut pohtimaan tätä/ En tiedä
- Oletko luopunut Z-levyn käytöstä, mikäli rakenne joka tapauksessa ultrataan konepajalla?

- **Mikäli Z-levy tarvitaan, valitsen sen, vaikka konepajalla suoritetaankin ultraus;** Jätän Z-arvon huomiotta, koska ultraus konepajalla kartoittaa lamellirepeilyn riskin; En tiedä/En ole varma kuinka toimia

3.2 Kyselyn tulokset ja päätelmät

Pisteytin jokaisen kysymyksen siten, että hyvästä vastauksesta sai kaksi pistettä, huonosta nolla, ja jos katsoin vastauksen paremmaksi kuin huono vastaus annoin yhden pisteen. Kokonaispisteitä oli 13 ja 31 vastaajan keskiarvoksi tuli 7,4 pistettä, joka tarkoittaa, että 57 % vastauksista on hyviä. Otanta tuloksista löytyy kuvasta 5.



Kuva 5. Kyselyn tulokset (SurveyMonkey 2017).

Z-arvon tiedostamisen ja laskemisen kysymyksissä vastaukset menivät lähelle 50/50 tulosta ja lamellirepeilyn ilmiön tunnistaa entuudestaan 26 (84 %) vastaajaa. Suurin osa (62 %) osaa myös valita levyn paksuudeksi alle 15mm tilanteissa, jossa sitä ei ole muuten määritetty, jotta voidaan välttyä lamellirepeilyltä. Eniten epäselvyyksiä aiheuttaa, kuinka Z-arvo mitoitetaan (37 % ilmoittaa osaavansa) ja kuinka teräslevyn ultraäänitutkimus konepajalla on osana lamellirepeilyn kartoittamista. Tämä on ymmärrettävää, sillä asia on hyvin vaikeasti tulkittavissa eurokoodissa, eikä missään oteta kantaa kuinka ultraäänitutkimukset voisivat korvata Z-levyn tarpeen. Kyselyn perusteella Z-arvon määrittäminen ja lamellirepeilyilmiön tuonti esille on paikallaan.

4 LAMELLIREPEILYRISKIN MÄÄRITTÄMINEN

Tähän kappaleeseen on koottu SFS- ja EN- standardeista löytyvät osat lamellirepeilyn kartoittamiseen ja Z-arvon laskemiseen. Z-arvo kuvaa kuinka suuri lamellirepeilyn riski on.

Standardit on tehty vahvistamaan rakentamisen laatua. Eurokoodit ovat kantavien rakenteiden suunnittelustandardeja, jotka on luotu parantamaan eurooppalaisen rakenneteollisuuden kilpailukykyä Euroopan unionin alueella, että muualla maailmassa. Eurokoodeja käytetään yhdessä ympäristöministeriön vahvistamien kansallisten liitteiden kanssa. (SFS ry. 2017.)

4.1 Lamellirepeily standardissa

Teräsrakenteilla on eurokoodissa oma standardinsa SFS-EN 1993, joka on jaettu osiin. SFS-EN 1993-1-1 kohta 3.2.4 käsittelee lamellirepeilyä. Yleisvaatimukset teräsrakentamisessa talonrakentamisen osalta esitetään standardissa SFS-EN 1993-1-1 ja yksityiskohtaiset ohjeet materiaalin sitkeydestä ja paksuussuuntaisista ominaisuuksista esitetään standardissa SFS-EN 1993-1-10. (Kouhi, J. 2015, 53.)

Ohjeet itse lamellirepeilyriskin määrittämiselle löytyvät standardista SFS-EN 1993-1-10. Kuitenkin, standardi koskee vain teräksen lujuusluokkia S235-S460. Standardin EN 1993-1-12 myötä tulivat luokat S700 saakka. (SFS 1993-1-12/2007, 3) Standardin EN 10164 uusi revisio EN 10164:2004 on voimassa lujuusluokkaan S700 saakka, ja tätä revisiota on tarkoitus soveltaa myös lujuusluokkien S500-S700 teräksille lamellirepeilyohjeistuksessa standardissa EN 1993-1-10.

SFS-EN 1993 kumosi aiemman suomalaisen standardin SFS 2373, jossa lamellirepeilyn estämisen vaatimat toimenpiteet riippuvat rakenneosaan vaikuttavasta jännitystasosta. (Kouhi, J. 2015, 56.)

4.2 Lamellirepeilyriskin arviointi

Lamellirepeilyn riskiä kartoittaessa tulee suunnitellulle rakenteelle laskea Z-arvo. Jotta voidaan laskea Z-arvo ja määrittää Z-levyn tarve, on tarkalleen tiedettävä, minkälaisilla mitoilla rakenne valmistetaan, sekä tulevien hitsien paikat ja mitat.

Z-arvon voi määrittää EN 10164 mukaisesti vain teräksille, jotka ovat paksuudeltaan $\geq 15\text{mm}$. Toisin sanoen paksuudeltaan 15mm tai alle teräslevyillä voidaan unohtaa lamellirepeilyn riski ja Z-arvon laskeminen. (SFS-EN 10164/2005, 8.)

Taulukossa 1 on esitetty laatuluokkia talorakenteille. Z_{Ed} -arvon ollessa 10 tai alle, voidaan todeta lamellirepeily riskin olevan hyvin epätodennäköistä, eikä Z-levyä tarvitse valita. Ainoastaan levyn saadessa arvoksi yli kymmenen on valittava Z-levy.

Taulukko 1. Standardin EN 10164 mukaisen laatuluokan valinta rakennuksille (Ongelin & Valkonen 2016, 333).

Lausekkeen (5.12) mukainen Z_{Ed} :n mitoitusarvo	Z_{Rd} :n vaadittu mitoitusarvo ilmaistuna standardin EN 10164 mukaisen Z-arvon avulla
$Z_{Ed} \leq 10$	–
$10 < Z_{Ed} \leq 20$	Z 15
$20 < Z_{Ed} \leq 30$	Z 25
$Z_{Ed} > 30$	Z 35

Suunnittelussa tulee tarkastaa mitoitusehto, jossa voidaan lamellirepeily jättää huomioon ottamatta, jos seuraava SFS-EN 1993-1-10:ssä esitetty ehto on voimassa:

$$Z_{Ed} \leq Z_{Rd}, \quad (1)$$

missä Z_{Rd} on standardin EN 10164 mukaan materiaalille käytettävissä oleva Z-arvon mitoitusarvo, joka tulee murtokuroumaluokan (Z15, Z25 tai Z35) mukaan ja Z_{Ed} (E_d = Effective design value) kuvaa rakenteen herkkyyttä lamellirepeilylle, jonka suunnittelija laskee teräslevyn paksuuden ollessa $>15\text{mm}$.

Z_{Rd} -arvon määrittäminen on mahdollista tehdä myös valmiille luokittelemattomille teräslevyille ja rakenteille tapauskohtaisesti jälkikäteen. Käytännössä tämä tapahtuu siten, että levyistä otetaan näytepalat, jotka testautetaan laboratoriossa. Näille paloille suoritetaan muun muassa veto-koet. Käytettävälle levyille on suoritettava myös 100 % ultraäänitutkimus. Näin voidaan taata Z-arvo jälkikäteen. (Krankkala & Pokkinen 2017.)

Käytettävä teräsmateriaali luokitellaan taulukossa 2. Taulukon mukainen luokka voidaan valita kansallisessa liitteessä. Eurokoodi suosittelee luokkaa 1 ja Suomen kansallinen liite standardiin EN 1993-1-10 vaatii 1 luokan käyttämistä. (Ongelin & Valkonen 2016, 333.) Luokka 1 kehottaa käyttämään Z-terästä, kun taas luokka 2 rakenteen valmistamisen jälkeisiä tarkastuksia (Kouhi, J. 2015, 54). Tarkemmin luokan valinnasta ja sen vaikutuksesta kappaleessa 5.5.

Taulukko 2. Teräsmateriaalin luokitus (SFS-EN 1993-1-10/2005, 13).

Luokka	Ohjeiden soveltaminen
1	Kaikki eurooppalaisten standardien mukaiset terästuotteet ja kaikki paksuudet kaikissa sovellutuksissa
2	Tietyt terästuotteet ja paksuudet, jotka esitetään eurooppalaisissa standardeissa ja/tai tietyt luetellut sovellutukset

4.2.1 Lamellirepeilykestävyyden, Z_{RD} :n määrittäminen

Z_{RD} :n määrittää teräslevyn tuottaja, eli tehdas, josta Z-arvoinen levy tilataan. Z_{RD} on standardin EN 10164 mukaan materiaalille käytettävissä oleva Z-arvon mitoitusarvo, joka tulee murtokuroumaluokan (Z15, Z25 tai Z35) mukaan.

Z-levylle on annettu standardissa EN 10164 kolme eri murtokuroumaluokkaa eli laatuluokkaa: Z15, Z25 ja Z35. Luokat kertovat kuinka todennäköistä lamellirepeily on kyseisessä rakenteessa. Z15 tarkoittaa lamellirepeytymisen olevan mahdollista kohtuullisissa kuormitustapauksissa, Z25 voimakkaissa kuormitustapauksissa ja luokassa Z35 lamellirepeily on erittäin harvinaista. (Kuva 6.)

Taulukko 2. Paksuussuuntaisen murtokurouman arvot

Paksuussuuntainen murtokurouma %	Lamellirepeilyn todennäköisyys
$Z \geq 35$	Erittäin epätodennäköinen.
$20 \leq Z < 35$	Erittäin harvinainen.
$15 \leq Z < 20$	Mahdollinen voimakkaasti levyn paksuussuunnassa kuormitettavissa hitsausliitoksissa.
$10 \leq Z < 15$	Mahdollinen kohtuullisesti levyn paksuussuunnassa kuormitettavissa hitsausliitoksissa.
$Z < 10$	Mahdollinen jo lievästi levyn paksuussuunnassa kuormitettavissa hitsausliitoksissa.

Kuva 6. Lamellirepeilyn todennäköisyys Z-luokittain. (SSAB 2014)

Murtokurouma, eli Z-arvo, määritellään standardissa EN 10002-1 seuraavasti:

$$\left(\frac{S_o - S_u}{S_o} \right) \times 100, \quad (2)$$

missä S_o on vetokoesauvan mittapituusalueen poikkipinta-ala ennen kokea ja S_u pienin poikkipinta-ala poikkivedetyssä vetosauvakokeessa.

Levytuotteilla murtokurouman vähimmäisarvovaatimus koskee koko tuotetta. Profiileilla murtokurouman vähimmäisarvovaatimus koskee uumaa

tai laippaa riippuen näytteenottokohdasta. Taulukossa 3 esitetään eri murtokuroumaluokkien murtokuroumien vähimmäisarvot.

Taulukko 3. Murtokuroumaluokkien vähimmäisarvot. (SFS-EN 10164/2005, 10.)

Murtokuroumaluokka	Murtokurouma, %	
	Kolmen kokeen keskiarvon vähimmäisvaatimus	Yksittäisen kokeen vähimmäisarvovaatimus
Z15	15	10
Z25	25	15
Z35	35	25

Murtokurouma saadaan vetokokeesta, jossa teräslevyyn hitsataan tapit, joilla levyyn aiheutetaan vetoa paksuussuunnassa ja katsotaan kuinka levy kestää. Vetokokeen lisäksi teräslevylle suoritetaan yleensä ultraääni-tutkimus luokassa S1E1, jossa levy peilataan 200mm rasterilla. Ultraääni-tutkimuksen laajuus tulee suoraan standardista, jossa määritellään muun muassa rasterin koko, eli kuinka tiheä on tarkistus. Mitä paksumpaa ja lujempaa levyä, sitä enemmän parametrit muuttuvat ja vaaditaan laajempia testauksia. (Krankkala & Pokkinen 2017.)

4.2.2 Z_{Ed} :n laskenta

Z_{Ed} (E_d = effective design value) kuvaa rakenteen herkkyyttä lamellirepeilylle, jonka suunnittelija laskee teräslevyn paksuuden ollessa >15mm. Tämä arvo riippuu hitsauksen aikaisesta metallin estetystä kutistumisesta johtuvien venymien suuruudesta. Z_{Ed} :n mitoitusarvo voidaan määrittää kaavasta:

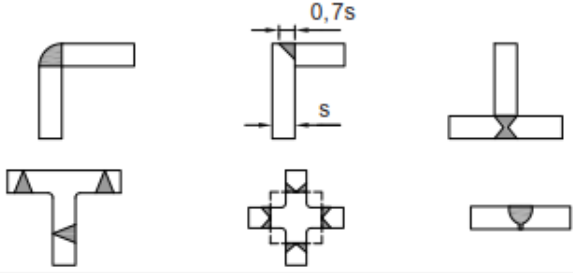
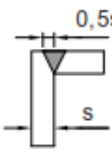
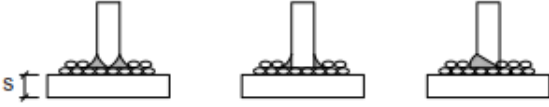

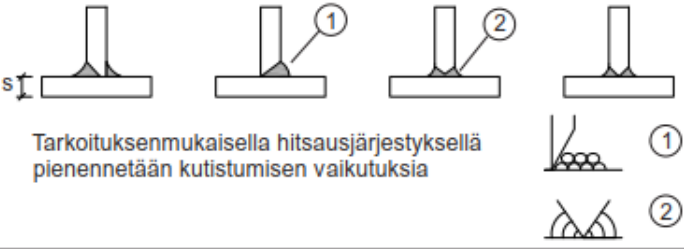


$$Z_{Ed} = Z_a + Z_b + Z_c + Z_d + Z_e, \quad (3)$$

missä Z_a , Z_b , Z_c , Z_d ja Z_e määritetään taulukosta 4. (SFS-EN 1993-1-10/2005, 14.)

Kyseisten tekijöiden arvoihin vaikuttavat seuraavat arvot:

- Z_a on hitsin korkeus, jota käytetään metallin kutistumisesta aiheutuvan venymän arviointiin.
- Z_b on hitsin muoto ja sijainti T-, risti- ja nurkkaliitoksissa.
- Z_c on ainepaksuuden s vaikutus kutistumista vastaavaan kiinnitysasteeseen.
- Z_d on hitsiä ympäröivien osien aiheuttama kiinnitysaste, joka vaikuttaa hitsin kutistumismahdollisuuteen.
- Z_e on esikuumennuksen vaikutus

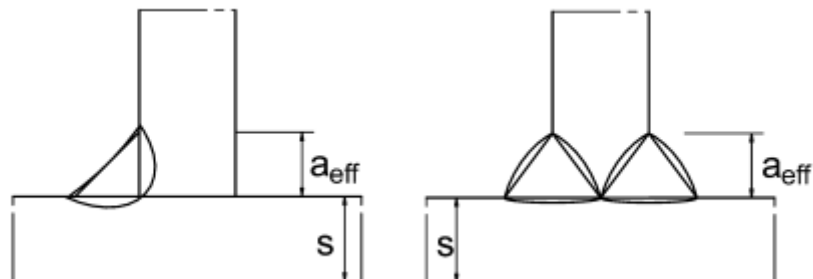
Taulukko 4. Z_{Ed} -arvon laskenta-arvot (SFS-EN 1993-1-10/2005, 15).

a)	Hitsin korkeus, jota käytetään metallin kutistumisesta aiheutuvan venymän arviointiin.	Hitsin tehollinen korkeus a_{eff} (ks. kuva 5.5)	Pienahitsin a-mitta	Z_i
		$a_{eff} \leq 7 \text{ mm}$	$a = 5 \text{ mm}$	$Z_a = 0$
		$7 < a_{eff} \leq 10 \text{ mm}$	$a = 7 \text{ mm}$	$Z_a = 3$
		$10 < a_{eff} \leq 20 \text{ mm}$	$a = 14 \text{ mm}$	$Z_a = 6$
		$20 < a_{eff} \leq 30 \text{ mm}$	$a = 21 \text{ mm}$	$Z_a = 9$
		$30 < a_{eff} \leq 40 \text{ mm}$	$a = 28 \text{ mm}$	$Z_a = 12$
		$40 < a_{eff} \leq 50 \text{ mm}$	$a = 35 \text{ mm}$	$Z_a = 15$
		$50 < a_{eff}$	$a > 35 \text{ mm}$	$Z_a = 15$
b)	Hitsin muoto ja sijainti T-, risti- ja nurkkaliitoksissa.			$Z_b = -25$
		<p>Nurkkaliitokset</p> 		$Z_b = -10$
		<p>Yksipalkkopiennahitsit $Z_a = 0$ tai piennahitsit joille $Z_a > 1$ välikerros-hitsausta ja alhaisen lujuuden omaavaa lisäainetta käytettäessä</p> 		$Z_b = -5$
		<p>Monipalkkopiennahitsit</p> 		$Z_b = 0$
		<p>Osittain läpihitsatut ja läpihitsatut hitsit</p>  <p>Tarkoituksenmukaisella hitsausjärjestyksellä pienennetään kutistumisen vaikutuksia</p>		$Z_b = 3$
		<p>Osittain läpihitsatut ja läpihitsatut hitsit</p> 		$Z_b = 5$
		<p>Nurkkaliitokset</p> 		$Z_b = 8$

Taulukko 4 (jatkuu).

c)	Ainepaksuuden s vaikutus kutistumista vastaavaan kiinnitysasteeseen.	$s \leq 10$ mm		$Z_c = 2^*$
		$10 < s \leq 20$ mm		$Z_c = 4^*$
		$20 < s \leq 30$ mm		$Z_c = 6^*$
		$30 < s \leq 40$ mm		$Z_c = 8^*$
		$40 < s \leq 50$ mm		$Z_c = 10^*$
		$50 < s \leq 60$ mm		$Z_c = 12^*$
		$60 < s \leq 70$ mm		$Z_c = 15^*$
		$70 < s$		$Z_c = 15^*$
d)	Hitsiä ympäröivien osien kiinnitysaste, joka vaikuttaa hitsin kutistumismahdollisuuteen.	Pieni kiinnitysaste:	Vapaa kutistuminen mahdollinen (esim. T-liitokset)	$Z_d = 0$
		Keskimääräinen kiinnitysaste:	Vapaa kutistuminen rajoitettua (esim. koteloprofilien poikittaisjäykisteet)	$Z_d = 3$
		Korkea kiinnitysaste:	Vapaa kutistuminen ei mahdollista (esim. ortotrooppisten kansilevyjen jäykisteet)	$Z_d = 5$
e)	Esikumennuksen vaikutus.	Ei esikumennusta		$Z_e = 0$
		Esikumennus ≥ 100 °C		$Z_e = -8$
* Voidaan pienentää 50 %:lla kohdissa, joihin kohdistuu pääasiassa staattisista kuormista aiheutuva levyn paksuussuuntainen puristusjännitys.				

Standardin SFS-EN 1993-1-10 taulukossa (Taulukko 4) käytetään merkinettä a_{eff} , jota ei tule sekoittaa hitsin efektiiviseen a -mittaan. Standardin SFS-EN 1993-1-10 taulukossa (Taulukko 4) käytetty a_{eff} esitetään kuvassa 7.



Kuva 7. Hitsin tehollinen korkeus a_{eff} kutistumiselle (SFS-EN 1993-1-10/2005, kuva 3.2.4.3/2).

Z_{Ed} :n vaadittu mitoitusarvo voidaan valita kansallisessa liitteessä standardin EN 1993-1-10 kohdan 3.2 mukaisesti käyttäen standardin EN 10164 mukaista laatuluokitusta. Rakennuksille suositellaan taulukon 5 mukaisia arvoja. (Havula & Martikainen n.d., 40).

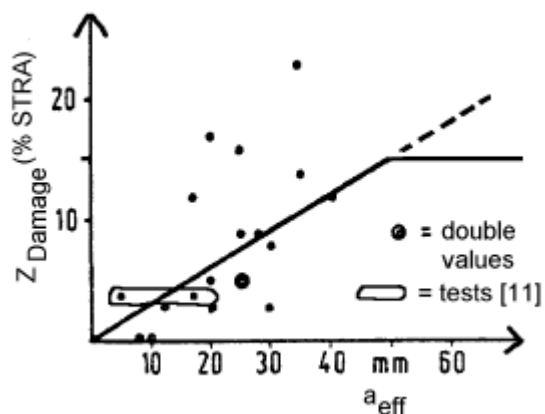
Suunnittelijan valitsee taulukosta 5 levyille Z -arvon laskemansa Z_{Ed} arvon perusteella. Z -arvolla teräslevyjä tilatessa levyn valmistaja haluaa tietää taulukon oikealla puolella esiintyvän arvon Z15, Z25 tai Z35.

Taulukko 5. Standardin EN 10164 mukaisen laatuluokan valinta (SFS-EN 1993-1-1/2005, 28).

Standardin EN 1993-1-10 mukainen Z_{Ed} :n vaadittu mitoitusarvo	Z_{Rd} :n vaadittu mitoitusarvo ilmaistuna standardin EN 10164 mukaisen Z-arvon avulla
$Z_{Ed} \leq 10$	—
$10 < Z_{Ed} \leq 20$	Z 15
$20 < Z_{Ed} \leq 30$	Z 25
$Z_{Ed} > 30$	Z 35

4.2.3 Hitsin korkeuden vaikutus (Z_a)

Kuvassa 8 on testituloksista koottu otanta, jossa on esitetty hitsin tehollinen korkeus kutistumalle (a_{eff}) ja sen suhde vahingon määrään levyssä (Z_{damage}), jossa lamellirepeilyä ilmeni. Näiden suhde toimii lineaarisena hitsin tehollisen korkeuden ollessa 50mm saakka. Tämän jälkeen hitsaus korkeuden kasvaessa vahinko teräslevyyn on aina $Z_a = 15$, koska tämän jälkeen hitsausjärjestys ei pahenna kutistumaa. On kuitenkin huomiotava, että testit ovat antaneet hajautettuja tuloksia, eivätkä ne siten tee tästä tarkastelusta 100 % tarkkaa. (Sedlacek ym. 2008, 118.)



Kuva 8. Hitsin tehollinen korkeus kutistumalle (a_{eff}) suhteessa vahingon määrään levyssä (Z_{damage}) (Sedlacek ym. 2008, 118).

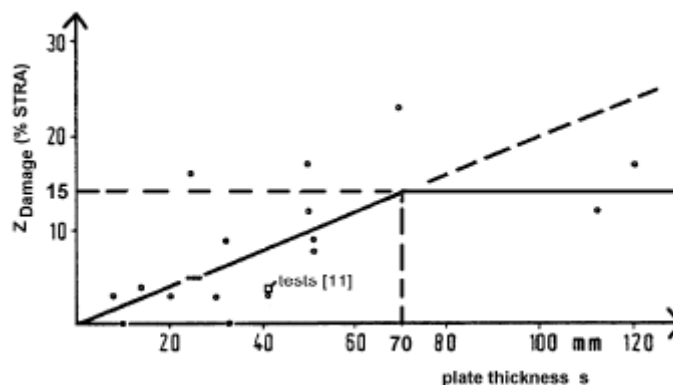
4.2.4 Hitsin sijainnin ja muodon vaikutus (Z_b)

Pienahitseissä nurkkiin, T-liitoksiin ja ristiliitoksiin käytetään yleensä Z_b :lle arvoa 0. Taulukossa 4 esitettyjen pienahitsien yläpuolella olevat tapaukset ovat hyvin suotuisia tapauksia lamellirepeilyn kannalta ja voivat kumota muita ei niin suotuisia vaikutuksia. Tapaukset näiden alapuolella

taas ovat vähemmän suotuisia. Tarkoituksenmukaisella hitsausjärjestyksellä ja pitämällä hitsaus palkot pienempänä kuin $a_{\text{eff}} = 7\text{mm}$, voidaan pienentää lamellirepeilyn riskiä. (Sedlacek ym. 2008, 119.)

4.2.5 Ainepaksuuden s vaikutus (Z_c)

Kuvassa 9 on testitulokset levyn paksuuden suhteesta vahingon määrään, joissa lamellirepeilyä esiintyi. Suhde toimii lineaarisena 70mm saakka, jonka jälkeen vahinko on $Z_{\text{damage}} = 15$ suuruista. Levyn saadessa vain staattista puristusjännitystä, voidaan vahingon arvoja pienentää 50 %. (Sedlacek ym. 2008, 119.)



Kuva 9. Levyn paksuus (s) suhteessa vahingon määrään levyssä (Z_{damage}) (Sedlacek ym. 2008, 119).

Taulukosta löytyy myös Z_c arvo materiaalipaksuudelle $s \leq 10\text{ mm}$. Tätä ei kuitenkaan tarvitse laskennassa ottaa huomioon, koska Z -arvo voidaan määrittää ainoastaan materiaalipaksuuden ollessa $< 15\text{mm}$ (SFS-EN 10164/2005, 8).

4.2.6 Hitsin ympäröivien osien kiinnitysaste (Z_d)

Vahinkoarviointi ei anna selkeätä suhdetta ympäröivien jäsenten jäykkyyttä koskevien yleisten rajoittavien vaikutusten kanssa, joten näihin taulukon tapauksiin on kohdennettu suhteellisen pieniä Z_d -arvoja verrattuna muihin Z -tekijöihin.

Rakenteesta riippuen kutistumisen merkitys on suurempi ja mitä vähemmän paikka sallii kutistumaa, sen suurempaa Z_d -arvoa on käytettävä. (Sedlacek ym. 2008, 120.)

Mikäli ei olla varmoja sallitun kutistuman määrästä liitoksessa, tässä opinäytetyössä suositellaan käyttämään laskennassa arvoa 5.

4.2.7 Esikuumennuksen vaikutus (Z_e)

Joissakin tapauksissa esim. paksun pohjalevyn ja pilarin välinen kiinnitys, saattaa olla järkevää käyttää esikuumennusta, jolla Z_{ed} -arvoa saadaan pienemmäksi.

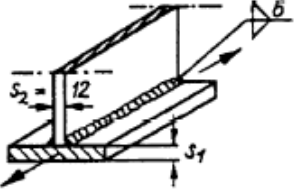
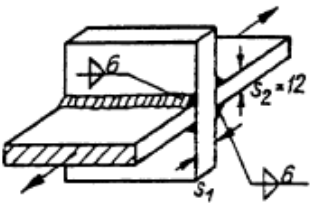
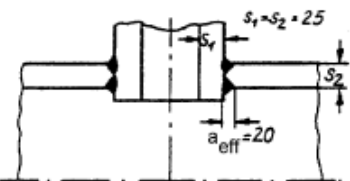
Esikuumennusta käytetään yleensä hitsattavien kappaleiden ainevahvuuksien poiketessaan toisistaan suuresti tai kosteuden poistamiseksi asennuksessa. Lämmitykset toteutetaan yleensä tavallisella nestekaasupolttimella, ja suuria määriä lämmitettäessä induktiolämmittimellä. Rakenneteräksillä ei ole yleensä tarvetta esilämmitykselle, koska karkenevuus ei ole ongelma. Esilämmityksen voi kuitenkin suorittaa mille tahansa rakenneteräsrakenteelle. (Mellanen, P. 2017)

Kun rakenne tullaan esikuumentamaan lämpimämmäksi kuin 100°C , voidaan Z_e -arvoa vähentää arvolla -8 . Tämä on yleensä hyödyllinen paksujen levyjen kanssa esim. pilarin pohjalevyssä tai jos ollaan kahden eri Z -arvon välillä.

4.2.8 Esimerkilaskuja

Taulukossa 6 esimerkkitapauksia pienestä, keskimääräisestä ja korkeasta kiinnitysasteesta ja Z -luokituksista jotka ne ovat saaneet. Pienissä kiinnitysasteissa tyypillisiä tapauksia ovat T-liitokset, joissa kutistuminen ei rajoitu. Keskimääräisessä kiinnitysasteessa tyypillisiä tapauksia ovat ristiliitokset, joissa kutistuminen rajoittuu hieman ja korkea kiinnitysasteessa paksut putkiliitokset, joissa kutistuminen ei ole mahdollista. (Sedlacek ym. 2008, 120.)

Taulukko 6. Esimerkkitaupuksia Z-arvon laskemisesta (Sedlacek ym. 2008, 120).

Case no	structural detail	s_1	Z_i					Z_{Sd}	required Z_{Rd}
			Z_a	Z_b	Z_c	Z_d	Z_e		
1 low restraint	Flange-web-connection of a beam 	15	3	0	4	0	0	7	-
		20	3	0	4	0	0	7	-
		30	3	0	6	0	0	9	-
		50	3	0	10	0	0	13	Z15
2 medium restraint	cruciform joint 	15	3	0	4	3	0	10	-
		20	3	0	4	3	0	10	-
		30	3	0	6	3	0	12	Z15
		50	3	0	10	3	0	16	Z15
3 high restraint	tube welded in a tube 	without preheating							
		6	5	6	5	0	22	Z25	
		with preheating							
6	5	6	5	-8	14	Z15			

5 MATERIAALIVALINTA

Tässä luvussa kerrotaan yleisesti Z-levystä, käyttökohteista, soveltuvista materiaaleista, poikkeavuuksista rakenneputkilla, ultraäänitutkimuksien mahdollisuuksista korvata Z-levy, hinnasta ja saatavuudesta, sekä kuinka nimike luodaan tilausta varten.

5.1 Z-levyt

Yleisesti ottaen tilanteet, joissa levyn paksuus ylittää 15mm ja levy saa paksuussuunnassa pientäkin vetoa on harkittava ja laskettava Z-luokitettun levyn tarve. (Krankkala & Pokkinen 2017.)

Z-luokituksen saanut teräs on erikoiskäsitelty teräs, jossa on huomioitu järeän teräsrakentamisen vaatimukset. Z-testauksella parannetaan teräksen paksuussuuntaisia ominaisuuksia, jotta voidaan estää hitsausliitoksissa esiintyvä lamellirepeily. Paksuussuuntaisia ominaisuuksia ja lamellirepeilyvaaraa voidaan arvioida levyille tehtävissä ultraäänitutkimuksissa ja vetokokeissa. Näitä testattuja levyjä kutsutaan yleisesti Z-levyiksi. Kirjain ”Z” viittaa nimenomaan paksuussuuntaan ja se tulee xyz-kordinaatistosta, jossa z on paksuus. (SSAB 2014)

Standardin EN 10164 mukaisesti kyseessä on lisäominaisuus, joka voidaan määritellä käytännössä kaikille teräslajeille tilausvaiheessa edellyttäen, että aineenpaksuus on vähintään 15mm ja levyn valmistaja voi sen kyseeseen luokkaan valmistaa. Z-levyn mitoituksessa kuitenkin lujuusluokka rajoittuu S700, jonka jälkeen suuremmilla lujuuksilla ei voida enää soveltaa eurokoodin mitoitusohjeistusta.

5.2 Käyttökohteet

Tässä opinnäytetyössä perehdytään enemmän rakennuksien runkorakenteisiin. Z-levyjä on käytössä kaikkialla maailmassa. Teräksen paksuussuuntaisia voimia syntyy monenlaisissa kohteissa, ja Z-testattuja levyjä voidaan löytää rakennusten runkorakenteiden lisäksi myös seuraavista kohteista: (SSAB 2014)

- Siltojen palkkirakenteet
- Siltanosturirakenteet
- Laivarakenteet
- Konepedit
- Raskaasti kuormitettavat laitteet kuten murskaimet
- Potkurilaitteistojen laipparakenteet

- Öljynporauslauttojen ristikkorakenteet
- Muut offshore-rakenteet, eli merellä olevat rakenteet

5.3 Soveltuvat teräslajit

Z-levyillä ei ole rajoitteita teräslajien suhteen, eikä näiden paksuussuuntaisten ominaisuuksien lisääminen aiheuta ongelmia teräslajien kanssa, lukuun ottamatta ruostumattomat teräkset, joille standardia EN 10164 ei voida soveltaa. Teräslevyjen on myös oltava paksuudeltaan 15mm ja 400mm väliltä. (SFS-EN 10164/2005, 8.) SSAB:lta tilattaessa Z-levyjä voi tilata minä tahansa kvarttolevyjen valmistusohjelmaan kuuluvana teräslajina. Z-levyjen kemiallinen koostumus, mekaaniset ominaisuudet ja käytettävyys konepajatyössä määräytyvät teräslajin perusteella. (SSAB 2014)

Kaikkia laatuja ei voida toimittaa tietyissä paksuuksissa Z-luokiteltuina. Tuotannossa on fyysisiä rajoitteita tai luokitusseuroilta ei ole saatu hyväksyntää kaikille paksuus-lujuus-kombinaatioille. Nämä ovat tapauskohtaisia, mutta perus luokille kuten S355 onnistuvat kaikki Z-testit. Erikoisemmissä testeissä on aina tapauskohtaisia rajoitteita ja niitä kannattaa kysyä suoraan tehtaalta kuinka mahdollisesti saanti onnistuu. Suuremmille lujuusluokille ajetaan hyväksyntöjä jatkuvasti eteenpäin ja tulevaisuudessa voi olla mahdollista saada Z-testattua levyä myös harvinaisimpina paksuus-lujuus-kombinaatioina. (Krankkala & Pokkinen 2017.)

5.4 Rakenneputket

Rakenneputkista valmistettavat rakenteet sisältävät tyypillisesti putkien pintaan hitsattuja liitoksia, kuten putkiristikkoita, jotka itsessään muodostavat rakenteellisesti lamellirepeilylle potentiaalisia tilanteita.

Standardi EN 10164 ei koske alle 15mm paksuja materiaaleja. Tämä tarkoittaa, ettei Z-vaatimusta tarvitse ottaa huomioon esimerkiksi SSAB Domex Tube rakenneputkilla. Rakenneputkien seinämänpaksuuksilla $t \geq 15\text{mm}$ voidaan tarvittaessa sopia paksuussuuntaisella vetokokeella suoritettava murtokourouman arvon (Z-arvon) testaus ja luokitus EN 1993-1-10 mukaisesti. Paksuussuuntainen vetokoe suoritetaan EN 10164 mukaisesti, ilman kyseisen standardin mukaista ultraäänitarkastusta.

Käytännön havaintona on todettu lamellirepeilyn olevan erittäin harvainen ilmiö rakenneputkilla. Osin vaikuttaa, että riski pienenee ainepaksuuden pienentyessä (Taulukko 4 tekijä Z_c). On kuitenkin pyrittävä välttämään rakenteita, jotka aiheuttavat lamellirepeilyä, vaikkakin ilmiö olisi hyvinkin epätodennäköistä. (Ongelin & Valkonen 2017, 332.)

5.5 Korvaus ultraäänitutkimuksilla

Lamellirepeilyalttiutta kartoittaessa valitaan teräksen luokka 1 tai 2. Luokassa 1 käytetään Z-terästä ja luokassa 2 määritellään lamellirepeilyn riski ja käytetään teräsrakenteen valmistuksen jälkeistä tarkastusta sen tarkistamiseksi, onko lamellirepeilyä esiintynyt. (Kouhi, J. 2015, 54) Kyseisiä tarkastuksia suoritetaan konepajoilla pääasiassa ultraäänitutkimuksilla hitsauksien jälkeen. Luokista tarkemmin kuvassa 10.

Menetelmän valinta lamellirepeilyn välttämiseksi, taulukon numero		
Luokka 1	Luokka 2	
Tavalliset sovellutukset, jotka tarkoittavat tavanomaisia esivalmistettuja teräsrakennneosia materiaalista ja loppukäytöstä riippumatta.	Sovellutukset, jotka rajoittuvat tapauksiin, joissa on suuri lamellirepeytymisen riski.	
↓	Lamellirepeilyyn liittyvän riskin määrittäminen.	
	<ul style="list-style-type: none"> -Vetojännityksen sijainti ja rakenteen staattisen määräämättömyyden aste. - Paksuussuuntaisen venymän suuruus rakenneosassa, johon kiinnitys tehdään. Tämä venymä aiheutuu hitsin kutistumisesta hitsin jäähtyessä. Venymä kasvaa merkittävästi, jos vapaa muodonmuutos on estetty, ts. rakenteen muut osat estävät vapaan muodonmuutoksen. - Liitoksen muoto vaikuttaa lamellirepeilyriskiin. Erityisen herkkiä lamellirepeilylle ovat ristin muotoiset ja T-liitokset, ks. kuva 3.2.4.1. - Hitsin koko kasvattaa lamellirepeilyn riskiä. - Teräksen kemiallinen koostumus vaikuttaa lamellirepeilyriskiin, erityisesti korkea rikki- ja fosforipitoisuus. 	
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">Merkittävä riski</td> <td style="text-align: center;">Ei niin merkittävä riski</td> </tr> </table>	Merkittävä riski
Merkittävä riski	Ei niin merkittävä riski	
Standardin SFS-EN 10164 mukaisen Z-laadun valinta	Rakenneyksityiskohdan tarkistaminen valmistuksen jälkeen ja korjaaminen tarvittaessa	

Kuva 10. Luokan valinta lamellirepeilyn välttämiseksi (Kouhi, J. 2015, 55. Muokattu mukailemaan liitettä 2).

Suomen kansallisesta liitteestä löytyy kohta koskien luokan valintaa, joka on hyvinkin suora kehoitus "Käytetään luokkaa 1." Standardissa SFS EN 1993-1-10 ei ole annettu luokan 2 valintaan tarkempia ohjeita lamellirepeilyvaaran tarkistamiseksi hitsauksien jälkeen. (Kouhi, J. 2015, 54.)

Kiireellisissä aikatauluissa Z-levyn saanti saattaa olla ongelmallista ja pienien erien tilaaminen usein myös kallista. Konepajoilta yleensä ehdotetaan 100% ultraäänitutkimuksen suorittamista Z-levyn korvikkeena, eli käytettäisiin luokkaa 2. Suoritettavaan ultraäänitykseen ollaan todettu toimivaksi SFS-EN 10160 S₃E₃ tarkastustason B tarkastus. (Mellanen, P. 2017) Näissä tapauksissa toimitaan kuitenkin Suomen kansallisen liitteen vastaisesti ja suunnittelija voi itse päättää ryhtyykö tähän. Varsinkin hyvin riskialttiissa liitoksessa, kuten jäykässä ristiliitoksessa, T- tai L-liitoksessa, tässä opinnäytetyössä suositeltaisiin vahvasti Z-laadun valitsemista.

Lamellirepeily alttiuden voi kartoittaa ultraäänitutkimuksen ja vetokokeen yhteistutkimuksella. Z-testauksiin liittyvät ultraäänitutkimukset kartoittavat levyn sisäiset virheet, kuten lamellirepeilyn. Tutkimuksia voidaan suorittaa eri menetelmin ja laajuuksin. (Krankkala 2017.)

Selvää vastausta ultraäänien mahdollisuuksiin kartoittaa lamellirepeilyn alttiutta en saanut myöskään NDT-tutkimuksia suorittavilta yrityksiltä Inspectalta tai Dekralta. Heidän mukaansa ultraäänitutkimuksilla voidaan kartoittaa lamellirepeämä ja muut teräslevyn sisäiset vauriot todella tarkasti, mutta siihen ei osata ottaa kantaa, voisiko ultraäänitutkimukset korvata Z-levyn tarpeen. Kuitenkin näitä ultraäänitutkimuksia tehdään lamellirepeilyn kartoittamiseen, myöskin rakenteissa joissa ei ole Z-arvolista levyä valittu. (Hyppänen 2017; Jeskanen 2017.)

Ultraäänitutkimus standardia SFS-EN 10160 voidaan soveltaa levytuotteille, joiden paksuus on 6...200mm (SFS-EN 10160/1999, 4). Tätä paksummille levyille voidaan suorittaa ultraäänitarkastuksia ja tarkkuudesta kannattaa kysyä tarkemmin tarkastuksen suorittajalta. Tästä voidaan päätellä lamellirepeilyriskin ollessa kyseessä yli 200mm paksulla levyllä, Z-levyn käytön olevan enemmän kuin suotuisaa.

Ultraäänitutkimus toimii karkeasti kerrottuna siten, että mittalaite kalibroidaan ja säädetään kyseiselle materiaalipaksuudelle. Tarkastettavalle pinnalle levitetään kytchentäaine, joka on yleensä vettä (SFS-EN 20160/1999, 8), jotta saavutetaan parempi kontakti. Laite lähettää materiaaliin ääniaallon, joka heijastuu virhekohdasta tai materiaalin pinnasta takaisin. Jos ääni heijastuu vastapinnasta, kyseisessä kohdassa ei ole virheitä. Tarkastuskohtia luodaan useampia eri kulmissa, koska ääniaaltojen suuntaisia virheitä on vaikea havaita. Tarkemmin ultraäänitutkimuksista ja niiden suorituksista esitetään standardeissa EN ISO 11666, EN ISO 17640 ja EN ISO 23279 (Ongelin & Valkonen 2016, 500). Näiden lisäksi ohjeita lamellirepeilyn välttämiseksi hitsauksen aikana esitetään standardissa SFS-EN 1011-2 (Kouhi, J. 2015, 55).

Tässä opinnäytetyössä ei paneuduta sen tarkemmin erilaisiin suoritettaviin ultraäänitutkimuslaatuihin ja -laajuuksiin.

Z-testauksiin liittyvissä ultraäänitutkimuksissa sallitaan pienet virheet levyissä standardin turvin. Testeissä saattaa tulla kuonasulkeuma vastaan teräslevyissä, mutta standardi sallii sen tietyin väljyyksin. Nämä virheet eivät haittaa ja ne ovat yleensä keskittyneenä keskilinjalle levyjä valssa- tessa. On yleistä, että ultraääni paljastaa pieniä virheitä levyn keskilin- jalla, mutta ne sallitaan standardin turvin, eikä niitä ole syytä hylätä. Asia- kas voi kuitenkin itse päättää haittaavatko pienet virheet, mutta ne ovat tehtaan puolesta sitä mitä on tilattu ja täyttävät vaatimukset.
 Krankkala 2017

Ultraäänitutkimukset ovat todella tarkka tapa kartoittaa syntynyttä la- mellirepeilyä, mutta ristiriitaisten tietojen ja tiedottomuuden takia, voi- daan todeta, ettei aihetta ole tutkittu tarpeeksi ja vedetty yhtenäistä lin- jaa, kuinka pelkkä ultraäänitutkimus riittää. Tästä syystä suositellaan käy- tettävän Suomen kansallisen liitteen ohjeistusta, jossa käsketään käytet- tävän kartoittamisessa luokkaa 1, eli Z-arvollisen teräslevyn valintaa (Ym- päristöministeriö 2017).

5.6 Hinta ja saatavuus

Kyseiset hinnat ovat SSAB:lta saatuja. Testausmenetelmät, niiden laatu, kattavuus ja hinnat vaihtelevat toimittajien mukaan.

Z-testauksille käytetään seuraavanlaisia hintoja:

- Z15 60€/tn
- Z25 90€/tn
- Z35 110€/tn

Näihin hintoihin kuuluvat siis kaikki testauksiin liittyvät paksuussuuntais- ten ominaisuuksien parantaminen, ultraäänitutkimukset ja vetokokeet. Annetut hinnat ovat ainoastaan hinta Z-testauksista, eli hinta tulee ole- maan teräslevyn hinta + Z-testauksien hinta yllä olevien hintojen mukaan.

Levyjen ultraäänitutkimusten hinnoittelu vaihtelee hyvinkin paljon laajuu- den ja tarkkuuden mukaan. Hinnat ovat välillä 20-73€/tn. Yleisimmin käy- tetyn ultraäänitutkimuksen S1+E1 kustannus on 50,-€/tn. (Tynys, J. 2017.)

Hintojen perusteella Z-levyn välttäminen ei ole järkevää. Hieman teräsle- vyn lujuudesta ja ominaisuuksista riippuen Z-arvollisen levyn hinta on noin 5-10% koko levyn hinnasta. Vaikka hinta ei rajoittaisi Z-levyn hankin- taa, voi aika rajoittaa. On huomioitava, että kiireellisissä aikatauluissa Z- levyn hankinta saattaa osoittautua ongelmalliseksi. Z-levy on yleensä ti- laustuote, eikä sitä löydy konepajoilta varastosta kuin hyvin spesifeihin kohteisiin, joihin tilataan säännöllisesti tiettyä rakennetta. Tehdas pystyy valmistamaan levyä sitä vauhtia, kun valssauskapasiteettia riittää. (Krank- kala & Pokkinen 2017.)

Z-levy on mahdollista toimittaa ympäri maailmaa SSAB:n puolesta. Suomessa toimitusaika levyille ilman testauksia on kuusi viikkoa, kun taas testauksien läpi meneville aika on vastaavasti seitsemän viikkoa. Saatavuus ei ole kiinni testaamisesta, vaan normaalista valssauskapasiteetista. (Tynys, J. 2017)

Muilta toimittajilta ja maailmalta ei voida ottaa kantaa muuten kuin asiakaskunnalta kuullun perustein; ulkoa tuleville toimitusajat ovat yleensä tilauksesta hieman pidemmät ja testaustavat saattavat olla erilaiset.

Tynys, J.

Esimerkkinä voidaan antaa tässä tapauksessa Kiina, josta on mahdollisuus saada heidän standardillaan Q345D-Z15/25/35 levyjä, joissa toimitusaika on jopa 60-90 päivää valssaamolta (Vaiste, J. 2017).

5.7 Z-levyjen nimikkeen luonti

Parannetuilla paksuussuuntaisilla murtokuroumaominaisuuksilla määriteltujen teräslevyjen nimikkeen muodostus tapahtuu seuraavasti:

- Teräslajin nimi (materiaalistandardi, ohjelehti tai muu spesifikaatio)
- Z-ominaisuudet määrittelevä standardi (esim. EN 10164)
- Z-laatuokan tunnus (Z15/25/35)

ASTM A770 mukaan tilattaviin teräksiin merkitään joko pelkkä standardi tai standardi ja merkintä ZT.

Jos esimerkiksi valitaan EN 10025-3 mukainen teräslaji S355N, ja EN 10164 mukaisen laatuokan Z25 määrittelyminen parannetuilla paksuussuuntaisilla murtokuroumaominaisuuksin, merkitään piirustukseen ja tilaukseen seuraavasti:

EN 10025-3 S355N + EN 10164 Z25

(SFS-EN 10164/2005, 8.)

6 TYYPILLISET LAMELLIREPEILYLLE ALTTIIT LIITOKSET JA RATKAISUT

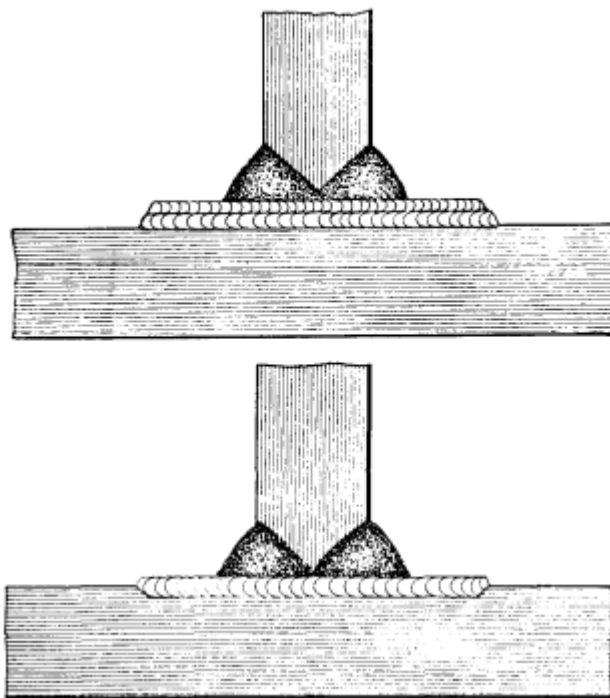
Parhaiten välttää lamellirepeilyn riskiä, kun valitsee detaljeja ja suunnittelee hitsin, joissa ei tapahdu kohtisuoraa vetoa levyn pintaan. Tähän kapaleeseen on koottu kuvia yleisimmistä tapauksista, joissa tulee ilmi Z-levyn tarve ja tarvittaessa tapa korvata rakenne. Tämän lisäksi on kerrottu hitsauksien merkityksestä, sekä koottuna erilaisia hitsauksen suoritustapoja, joille on esitetty parempia tapoja lamellirepeilyn kannalta.

6.1 Hitsauksen merkitys

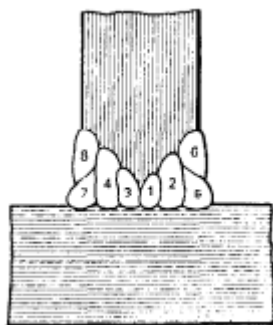
Hitsauksen suoritustavalla, hitsausjärjestyksellä, sekä yksittäisten liitosten muotoilulla voidaan pienentää lamellirepeilyn riskiä pienentämällä kutistumisjännityksiä. Muita tapoja vähentää kutistumisjännityksiä ovat mm. seuraavat: (Ongelin & Valkonen 2016, 331)

- hitsiainemäärän pienentäminen
 - hitsejä suunniteltaessa hitsit eivät saisi olla suurempia kuin on täysin välttämätöntä.
- hitsaus suuremmalla energialla
 - leveämpi hitsi, joka tunkeutuu syvemmälle ja johtaa muodonmuutokset laajemmalle alueelle levyn paksuussuunnassa
- hitsauksessa mahdollisimman vähän palkoja
- käyttämällä railopinnan välikerroshitsausta (Kuva 11)
- symmetrinen hitsausjärjestys kaksipuoleisissa railoissa (Kuva 12)
- korkealujuusteräksillä käytettävä pientä lämpöä ja enemmän palkoja
 - suuri lämpö/vähän palkoja heikentää lujuutta hitsien vieressä (Havula 2017).

Näiden lisäksi riskit kasvavat mitä enemmän hitseihin syntyy sisäisiä veto-voimia levyn paksuussuunnassa. Riskit myös kasvavat metallisen vedyn määrän lisääntyessä hitsissä. (TWI 2017.)



Kuva 11. Railopinnan välikerroshitsaus (Farrar & Dolby 2001, 14).

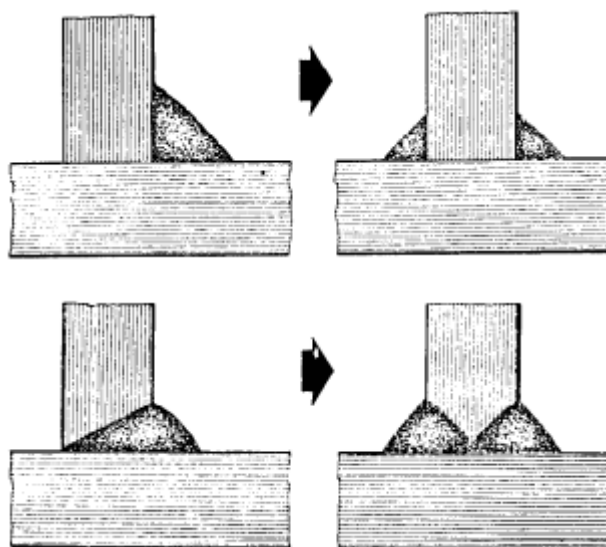


Kuva 12. Symmetrinen hitsausjärjestys (Farrar & Dolby 2001, 15).

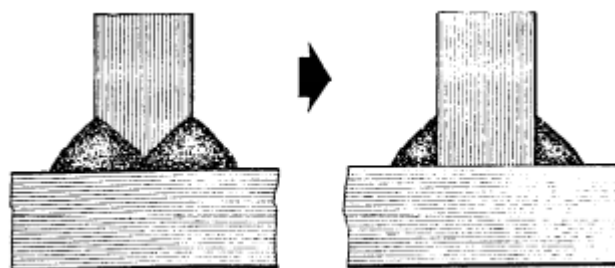
6.1.1 Paremman hitsin suoritus-tavan valitseminen

Hitsin suoritus-tavan valitsemisella voidaan vaikuttaa lamellirepeilyn syntymiseen. Osalla voi olla vain hyvin pieni merkitys, mutta on mahdollista vaikuttaa myös merkittävästi valitsemalla jokin aivan toisenlainen suoritus-tapa.

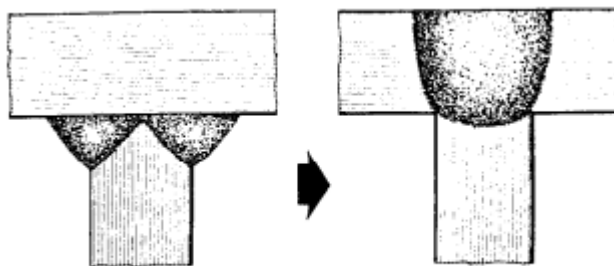
Seuraavissa kuvissa on esitetty vaihtoehtoja parempiin hitsauksen suoritus tapoihin:



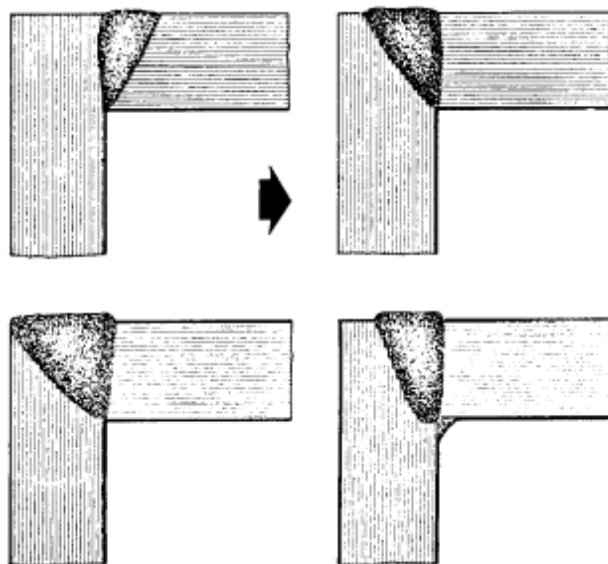
Kuva 13. Hitsaus puolen vaihtaminen: Valitsemalla yksipuolisen hitsin sijaan kaksipuolinen hitsaus. Näissä tapauksissa ero on hyvin pieni, mutta antaa mahdollisuuden pienentää hitsin korkeutta, joka taas parantaa kestävyttä lamellirepeilylle. (Farrar & Dolby 2001, 8.)



Kuva 14. Läpihitsauksesta pienahitsiksi: Valitsemalla läpihitsatun hitsin sijasta yksinkertaisemman pienahitsin (Farrar & Dolby 2001, 9).



Kuva 15. Hitsaustavan radikaali muutos: Malli, jossa riski lamellirepeilyyn katoaa käytännössä lähes täysin. Tämä muutos voi olla kuitenkin kallis ja vähemmän käytännöllinen. (Farrar & Dolby 2001, 9.)



Kuva 16. Kulmaliitosten ihanteellinen hitsaus: Kulmaliitoksissa tekemällä hitsin levyn puolelle, jossa lamellirepeilyä syntyy. Ihanteellisin vaihtoehto kyseiseen tilanteeseen on oikealla ylhäällä. Vasemmallalla alhaalla leveämpi syvälle pureva hitsi voi olla tehokkaampi, mutta kalliimpi ja käyttää paljon enemmän hitsimetallia. Oikealla alhaalla kulma on taas liian pieni ja on alttiimpi lamellirepeilylle. (Farrar & Dolby 2001, 9.)

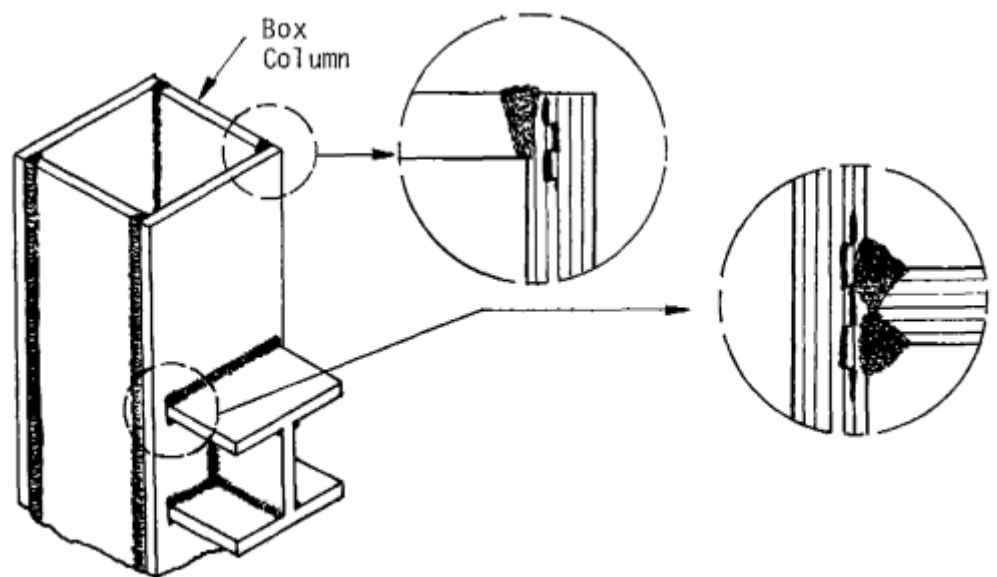
6.1.2 Hitsien todentaminen konepajoilla

Hitsauksien jälkeen konepajoilla suoritetaan hitseille ainetta rikkomattomat testaukset, eli NDT-testaukset (Non-destructive testing). Näitä menetelmiä on useita erilaisia, joista yleisimmin käytetty näissä tapauksissa on ultraäänitarkastus (UT, ultrasonic testing). Ultraäänitestaukset havaitse-

vat hitsien ja materiaalin sisäiset virheet, joita aiheutuu hitsien kutistumasta. Hitsien tarkastuslaajuudet ja vaatimukset on esitetty standardissa EN 1090-2. (Ongelin & Valkonen 2016, 499.)

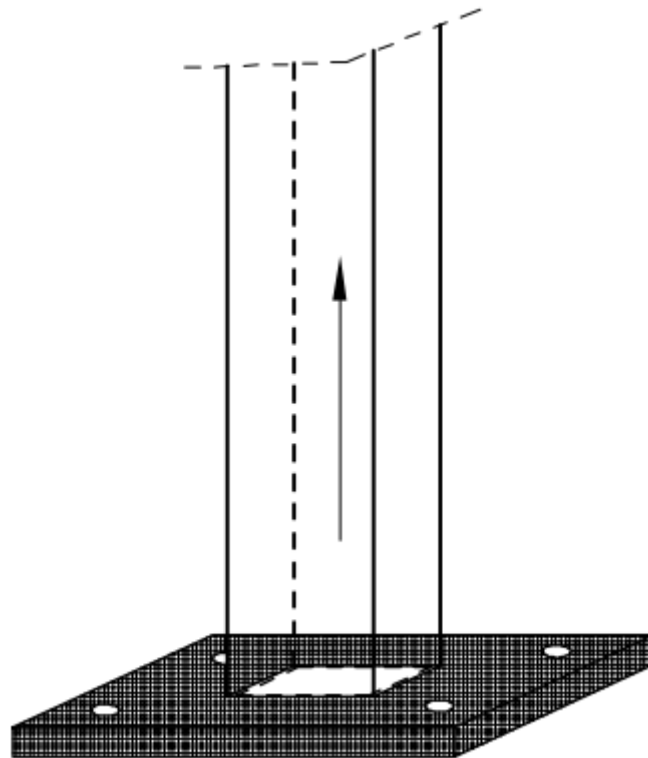
6.2 Yleisimmät lamellirepeilylle alttiit liitokset ja vaihtoehtoiset parannetut ratkaisut

Nuolet osoittavat voimien suunnan ja tummennettu levy kuvaa teräslevyä, joka saa vetoa paksuussuunnassa ja jonka paksuus ylittää 15mm. Näissä tapauksissa on laskettava Z-arvo. Kuvan liitokset on esitetty rakenneputkilla, mutta yhtä lailla niitä voidaan ajatella myös muiden teräsprofiilien näkökannalta. Tärkeimpänä liitoksia suunniteltaessa tulisi jokaisen levyn kohdalla miettiä erikseen, onko mahdollista, että levy saa vetoa paksuussuunnassa. Muutamilla geometrisesti riskialttiilla rakenteella on annettu levyn paksuudelle korkean riskin raja lamellirepeilylle, jonka jälkeen Z-levyn käyttö on suositeltavaa. Esitettyjen kuvien lisäksi erityistä huomiota on kiinnitettävä palkki-pilarikiinnityksiin (Kuva 17) ja hitsaamalla kiinnitettyihin päätylevyihin, joihin aiheutuu paksuussuuntaista vetoa (Kouhi 2015, 53).



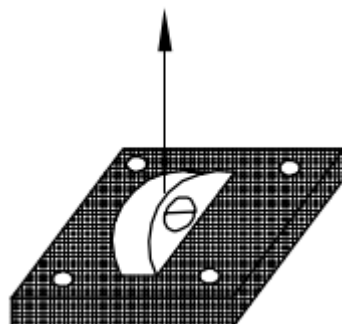
Kuva 17. Lamellirepeilylle alttiita liitoksia palkki-pilarikiinnityksessä (Sommella 1979, 4-3).

Hyvin tyypillinen liitos, jossa teräspilari liittyy pohjalevyyn (Kuva 18). Kyseistä liitosta voidaan myös soveltaa mihin tahansa päätylevyyn. Mikäli levy saa tässä tapauksessa ainoastaan puristusvoimaa kohtisuorassa, ei ole Z-levylle tarvetta. Veto- ja pienetkin momenttivoimat antavat syyn laskea Z-arvon.



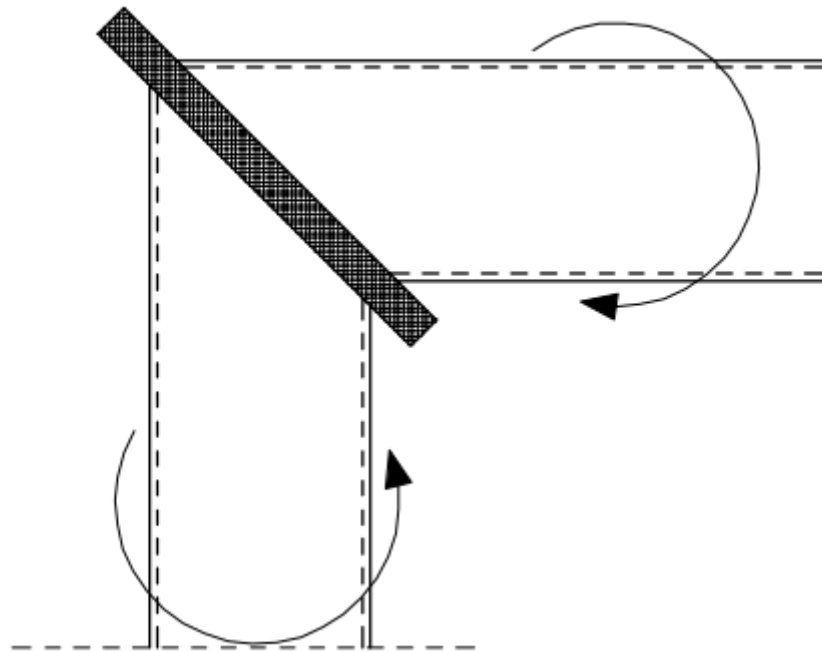
Kuva 18. Pilarin pohjalevyliitos.

Kuvassa 19 esitetään erilaisten kiinnikkeiden kiinnitys teräslevyihin. Tällaiset liitokset eivät ole kovin yleisiä, mutta ne ovat hyvinkin riskialttiita lamellirepeilylle.

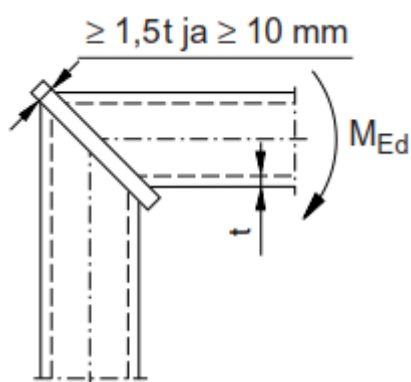


Kuva 19. Kiinnikkeiden kiinnitys teräslevyihin.

Hyvin yleisiä liitoksia ovat nurkkiin tulevat L- ja polviliitokset (Kuva 20). Näissä liitoksissa rakenneputkien väliin tulee yleensä vahvikelevy. Vahvikelevyn paksuudeksi on pyrittävä valitsemaan alle 15mm. Rakenneputkien seinämän paksuuden ylittäessä 10mm ei voida kuitenkaan enää jäykistyksen kannalta valita vahvikelevyä alle 15mm paksuisena, joten Z-levyn tarve tulee tällöin laskea. Kuvassa 21 ohjeistus putkien välisen levyn paksuuden määrittämiseen. Sama ohjeistus pätee myös eri asteisten polviliitosten vahvikelevyihin. (Ongelin & Valkonen 2016, 404.) Korkean riskin rakenteeksi L-liitosta voidaan sanoa vahvikelevyn paksuuden ylittäessä 20mm. (SIGNS 2009)

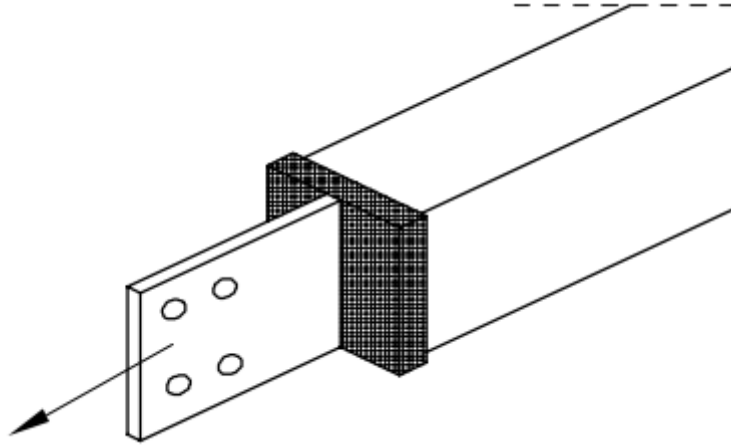


Kuva 20. Vahvikelevy nurkkaliitoksissa.



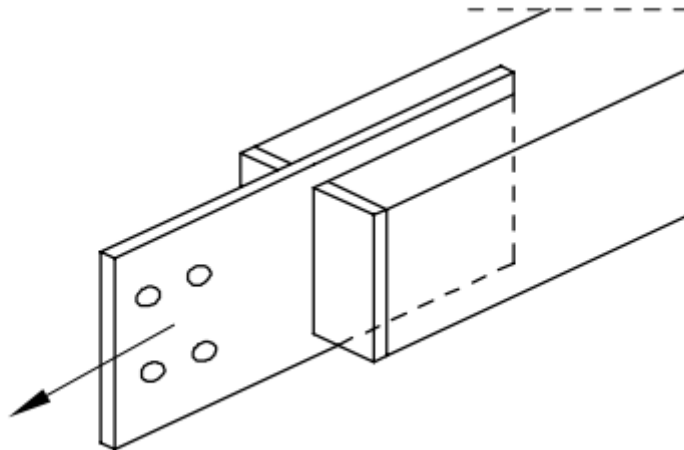
Kuva 21. Vahvikelevyn paksuuden mitoitus. (Ongelin & Valkonen 2016, 404.)

Rakenneputken jatkosliitokset, joita tulee pilarien ja palkkien päihin (Kuva 22). Rakenneputken päähän hitsattu levy altistuu lamellirepeilylle siihen hitsatun kiinnikelevyn vuoksi. Tämän tapaisissa detaljeissa voidaan miettiä vaihtoehtoisia tapoja suorittaa kiinnitys, kuten seuraavassa kuvassa 23 on esitetty.



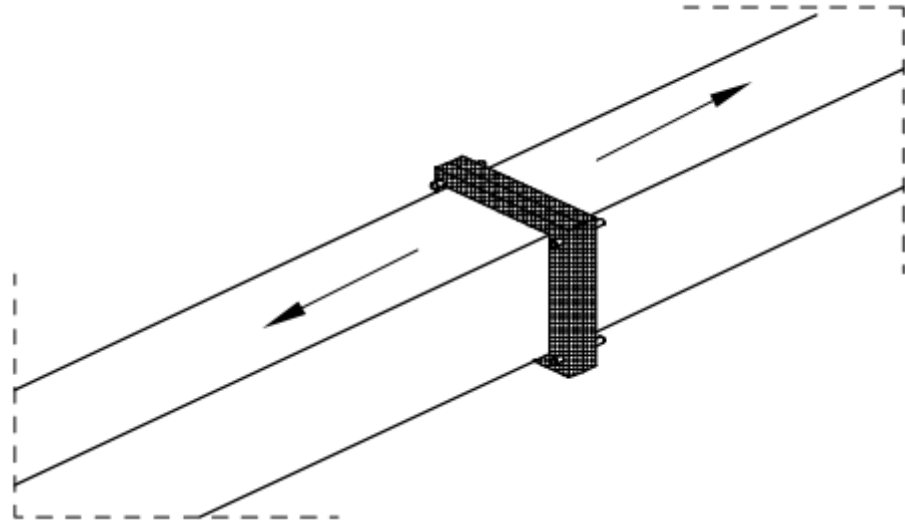
Kuva 22. Huonon mallinen jatkosliitos

Vaihtoehtoinen detailji (Kuva 23) aiempaan jatkosliitokseen (Kuva 22). Z-levyn tarvetta ei tarvitse miettiä laisinkaan, sillä tässä ei mikään levy saa vetoa paksuussuunnassa.



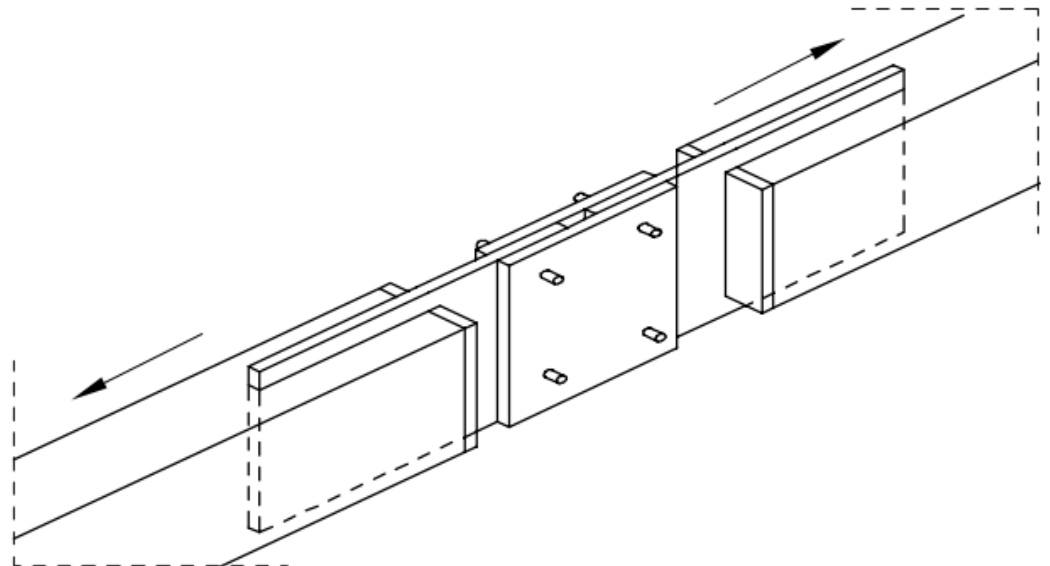
Kuva 23. Paremman mallinen jatkosliitos

Palkki-palkki-liitos yhdellä tai kahdella vahvikelevyllä (Kuva 24). Yleensä ainoa ratkaisu, mikäli jatkospalkki saa sivuttaissuuntaista momenttia, mutta mahdollisuuden salliessa pyrittävä korvaamaan kuvan 25 ratkaisulla.



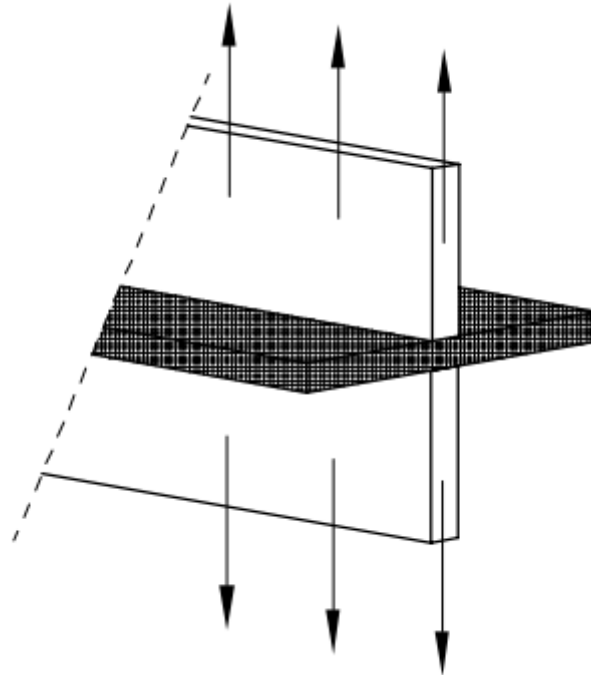
Kuva 24. Malli palkki-palkki-liitoksesta.

Limitetty vetoliitos kuvassa 25, on ratkaisu aiempaan palkki-palkki-liitokseen, mutta vaikeampi toteuttaa. Toteutuksen vaikeudesta huolimatta poistaa lamellirepeilyn riskin täysin ja tulisi valita kuvan 24 sijaan sen ollessa mahdollista.



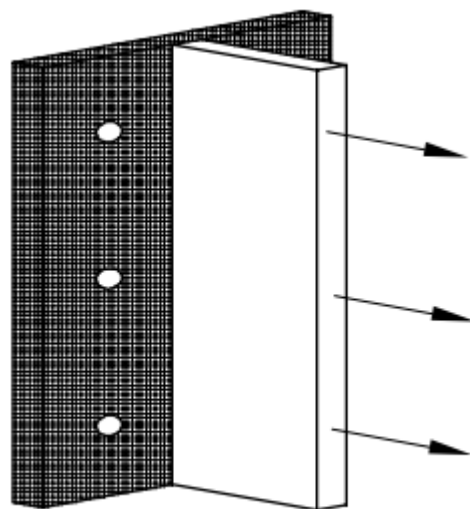
Kuva 25. Parempi malli palkki-palkki-liitoksesta.

Kaikenlaisia ristiliitoksia saattaa tulla vastaan monissa sovelletuissa tilanteissa ja ne saattavat jäädä helposti huomiotta (Kuva 26). Ristiliitoksella voidaan sanoa olevan korkea riski lamellirepeilyyn, kuvassa näkyvän tummennetun levyn paksuuden ylittäessä 25mm. (SIGNS 2009)



Kuva 26. Ristiliitos.

T-liitokset, kuten ristiliitoksetkin saattavat tulla vastaan hyvinkin yleisesti (Kuva 27). Detaljeja suunniteltaessa, tulisi jokaisen levyn kohdalla miettiä erikseen onko mahdollista, että levy saa vetoa paksuussuunnassa. T-liitoksen korkean riskin raja lamellirepeilylle tulee vastaan tummennetun levyn paksuuden ylittäessä 35mm. (SIGNS 2009)



Kuva 27. T-Liitos.

7 YHTEENVETO

Vähemmän teräsuunnittelua tekevien parissa lamellirepeilyn huomioiminen saattaa olla täysin tuntematon tai unohdettu asia. Tämän opinnäytetyön yhteydessä teetetyn kyselyn kautta sai hyvän käsityksen, minkälaisella tasolla Z-levyjen lamellirepeilyn tunnettavuus on. Ilmiö on harvinaisen, josta ei ole raportoitu suurempia onnettomuuksia lähivuosisikymmenten aikana ja se on pieni osa suunnittelua. Lamellirepeilyn vuoksi tapahtuvan rakenteiden sortumisen estäminen myös jatkossa, on ilmiö hyvä tuoda esille suunnittelijan mielenrauhankin vuoksi. Tärkeimpänä asiana mainittakoon, ettei ilmiötä tarvitse huomioida laisinkaan teräslevyillä, joiden paksuus on 15mm tai alle. Näissä tapauksissa Z-levyn käyttö ei ole tarpeen ja konepajoilla suoritettavat ultraäänitutkimukset riittävät lamellirepeilyn tarkasteluun.

Levyn paksuuden ylittäessä 15mm ja sen saadessa vetoa tai momenttia paksuussuunnassa lamellirepeilylle riskialtteissa liitoksissa, on lamellirepeilyn kartoitus suotavaa. Erityisesti on syytä kiinnittää huomiota hitsattuihin palkki-pilariliitoksiin ja hitsaamalla kiinnitettyihin päätylevyihin, joihin aiheutuu paksuussuuntaista vetoa.

Itse lamellirepeilyn vähentämiseksi suurimmalta osin voidaan vaikuttaa suunnitteluratkaisuilla. Mikäli löytyy mahdollisuus toteuttaa liitokset joillakin toisilla tavoilla, on hyvä perehtyä minkälaiset liitokset ovat jo itsessään hyviä ehkäisemään lamellirepeilyä, ja saatetaan välttyä jopa kokonaan Z-levyn käytöltä. Z-levy ei kuitenkaan ole kallista, joten sen välttäminen ei tässä mielessä ole välttämätöntä. Levyä on myöskin mahdollisuus saada monilla eri ominaisuuksilla ja lujuuksilla, joista poikkeuksena ruostumaton teräs, jolle ei voida soveltaa Z-arvon laskentaa.

Olettaisin ilmiön olevan entistä harvinaisempi tulevaisuudessa, sillä jatkuvasti yritetään kehittää lujempia teräksiä ja halventaa näiden hintoja. Lujempien terästen myötä päästään ohuempisiin ainepaksuuksiin rakenteissa, joka mahdollistaa alle 15mm levyjen käytön poistaen lamellirepeilyn riskiä. Kuitenkin tämä myös aiheuttaa haasteita hitsauksessa ja lujemilla materiaaleilla lamellirepeily alttius on suurempi, kuin vähemmän lujilla.

Z-levyn korvaamisella ultraäänitutkimuksilla on todettu olevan ristiriitaista tietoa. Konepajat ehdottavat ultrauksia kiireellisten aikataulujen vuoksi. Kuitenkin SSAB tyrmää väitteen ultrauksen voivan täysin korvata Z-levyn, joten tyytyminen pelkkiin ultraäänitarkasteluihin voi olla riski. Suomen kansallinen liite kuitenkin velvoittaa käyttämään Z-levyä, joten suunnittelijan on hyvä toimia sen mukaan. Voidaan todeta, ettei ilmiötä ole tutkittu tarpeeksi, jotta voitaisiin luottaa pelkkiin ultraäänitutkimuksiin ja varsinkin hyvin riskialttiilla liitoksella on syytä turvautua Z-levyyn.

Ongelmallista tässäkin on se, että riskin määrää on vaikea arvioida ja vetää selvää rajaa missä vaiheessa voidaan puhua riskiliitoksesta.

Toivon tämän työn jatkossa tuovan jonkinlaista varmuutta suunnittelijoille lamellirepeilyn tiedostamiseen ja Z-levyjen käyttämiseen.

LÄHTEET

Farrar, J. C. M., Dolby, R. E. (2001). *Lamellar tearing in welded steel fabrication*. TWI Ltd.

Havula, J. (2017). Opinnäytetyö kommentoitavaksi. Sähköpostiviesti tekijälle 5.5.2017.

Havula, J., Martikainen L. (n.d.). Teräs kuormaa kantavien rakenteiden materiaalina. Luento materiaali. 20.2.2017, Hämeen ammattikorkeakoulu Ohutlevykeskus.

Kouhi, J. (2015). Eurocode 3 Teräsrakenteiden suunnittelu. 1-1 Yleiset ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys ry.

Mellanen, P. Lahden Tasopaveley Oy (2017). Tietämystä kaivataan opinnäytetöihin. Sähköpostiviesti tekijälle 21.4.2017.

Ongelin, P., Valkonen, I. (2016). *SSAB Domex Tube RAKENNEPUTKET, EN 1993 – Käsikirja 2016*. Hämeenlinna: SSAB Europe Oy

Sedlacek, G., Feldmann, M., Kühn, B., Tschickardt, D., Höhler, S., Müller, C., Hensen, W., Stranghöner, N., Dahl, W., Langenberg, P., Münstermann, S., Brozetti, J., Raoul, J., Pope, R., Bijlaard, F. (2008). *EUR 23510 EN. Commentary and worked examples to EN-1993-1-10 "Material toughness and trough thickness properties" and other toughness oriented rules in EN 1993*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European communities.

SFS-EN 10160 (1999). Vähintään 6mm paksujen teräslevytuotteiden ultraäänitarkastus (Heijastusmenetelmät). Haettu 8.3.2017 osoitteesta <https://online.sfs.fi>

SFS-EN 10164 (2005). Terästuotteet parannetuin paksuussuuntaisin murtokuromuominaisuuksin. Tekniset toimitusehdot. Haettu 6.3.2017 osoitteesta <https://online.sfs.fi>

SFS-EN 1993-1-1 (2005). Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Haettu 3.4.2017 osoitteesta <https://online.sfs.fi>

SFS-EN 1993-1-10 (2005). Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-10: Materiaalin sitkeys ja paksuussuuntaiset ominaisuudet. Haettu 3.4.2017 osoitteesta <https://online.sfs.fi>

SFS-EN 1993-1-12 (2007). Eurokoodi 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-12: EN 1993 laajennus teräslajeihin S 700 asti. Haettu 2.5.2017 osoitteesta <https://online.sfs.fi>

SIGNS (2009). Steel industry guidance notes: Trough-thickness Properties. SN34 04/2009.

Sommella, J. (1979). SSC-290 - Significance and control of lamellar tearing of steel plate in the shipbuilding industry. Washington, D.C.: U.S. Coast Guard Headquarters.

SSAB (2014) Ruukki: Z-levyt. Saatavissa SSAB:ltä.

Suomen Standarditoimistoliitto SFS ry (2017). Eurokoodit. Haettu 24.4.2017 osoitteesta www.sfs.fi/aihealueet/eurokoodit

SurveyMonkey (2017). Teetetty kysely omasta toimesta. Luotu 20.4.2017 osoitteessa <https://fi.surveymonkey.com>

TWI (2017). Defects – lamellar tearing. Haettu 25.4.2017 osoitteesta <http://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/defects-lamellar-tearing-047/>

Tynys, J. SSAB. (2017). Z takuu. Sähköpostiviesti tekijälle 16.3.2017.

Vaiste, J. A-Insinöörit. (2017). RI-työ, Z-levyjen käyttö teräsrakenteiden liitoksissa. Sähköpostiviesti tekijälle 4.5.2017.

Ympäristöministeriö (2017). Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakenteiden lujuus ja vakaus. Teräsrakenteet. Haettu 10.5.2017 osoitteesta http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismääräyskokoelma/Rakenteiden_lujuus_ja_vakaus

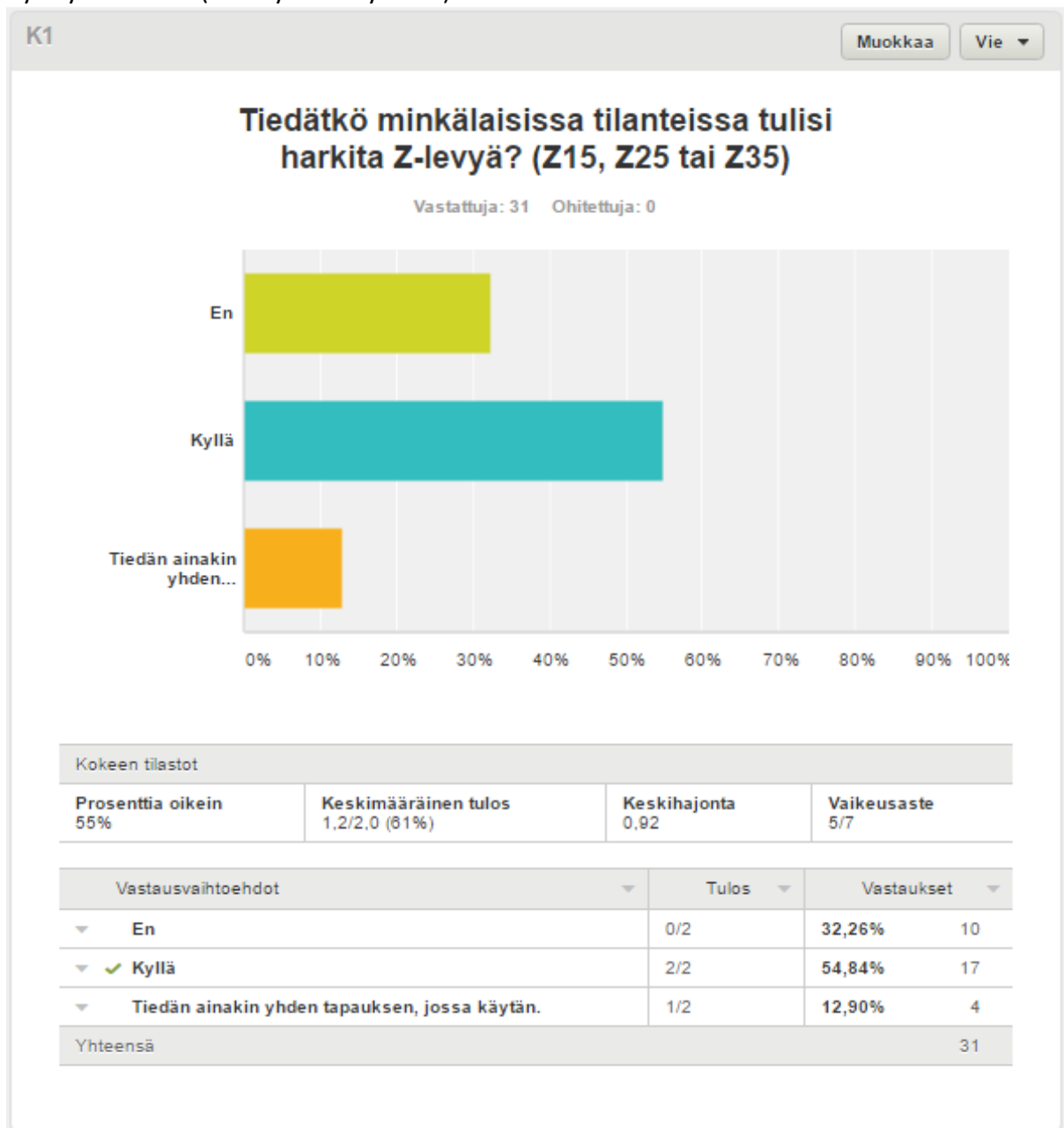
HAASTATTELUT

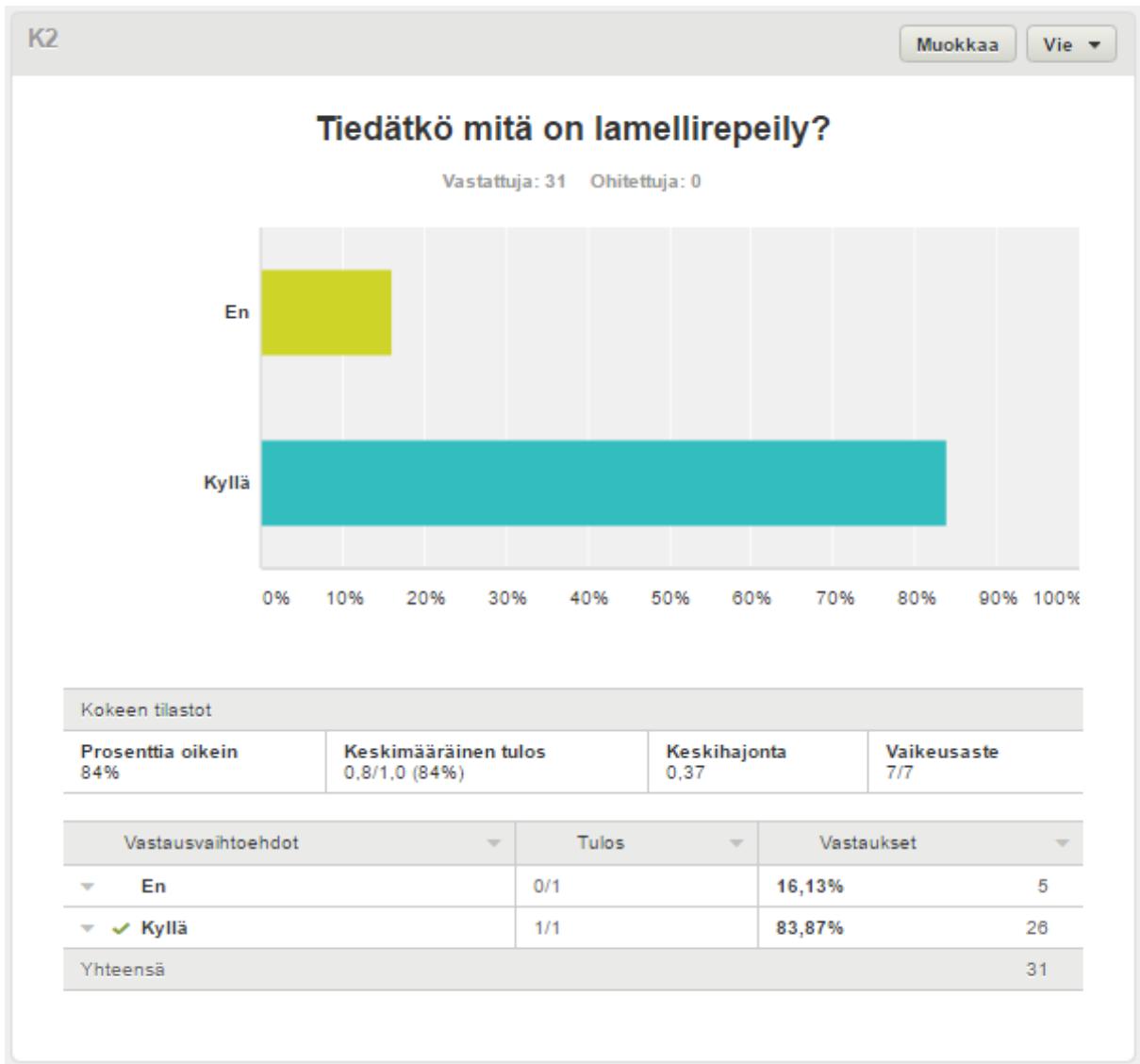
Krankkala, E. Technical Development Manager SSAB. Pokkinen, T. Technical Development Manager SSAB. Haastattelu. Hämeenlinna 10.4.2017

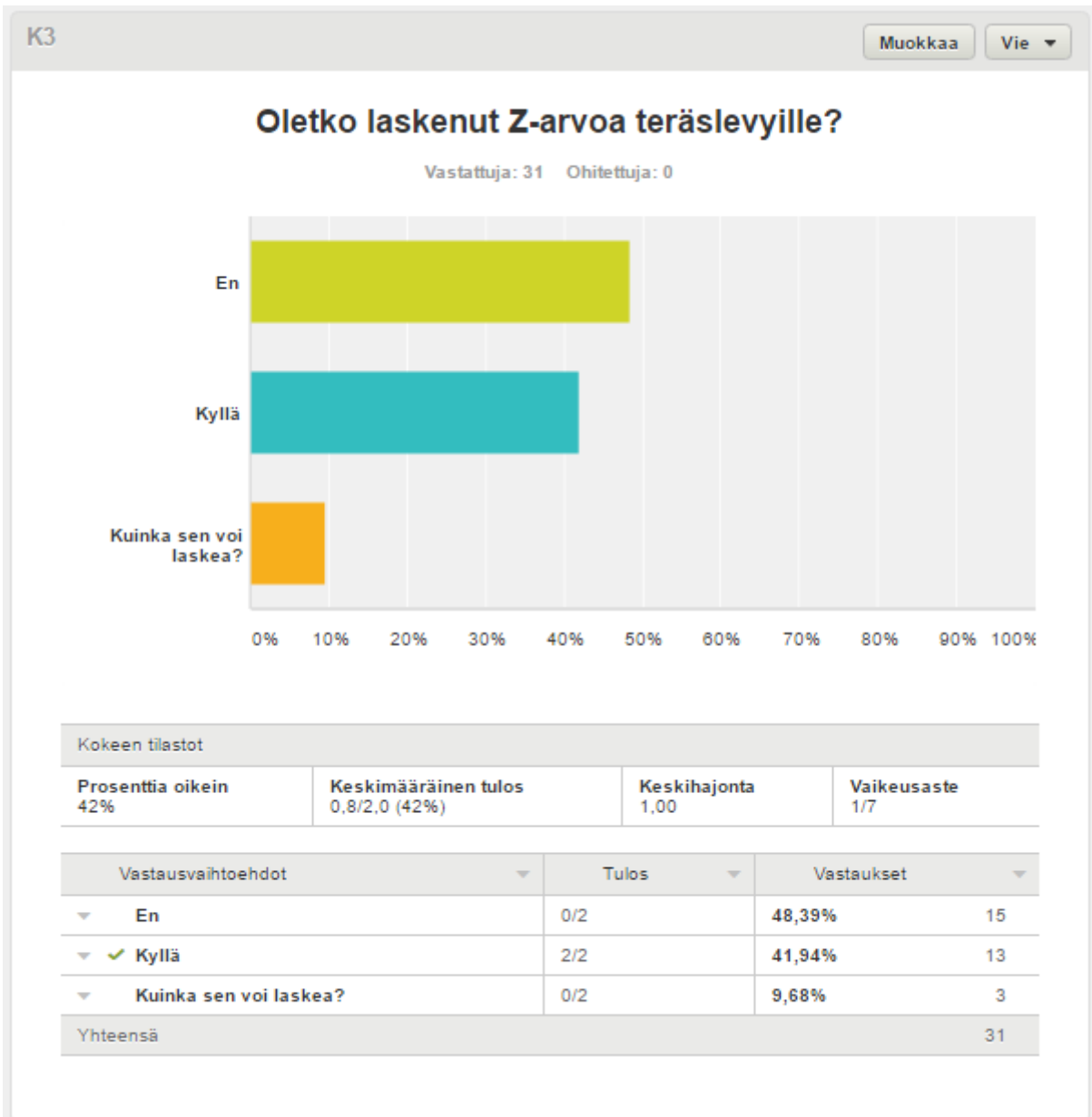
Hyppänen, T. NDT-asiantuntija, Inspecta. Puhelinhaastattelu 11.5.2017

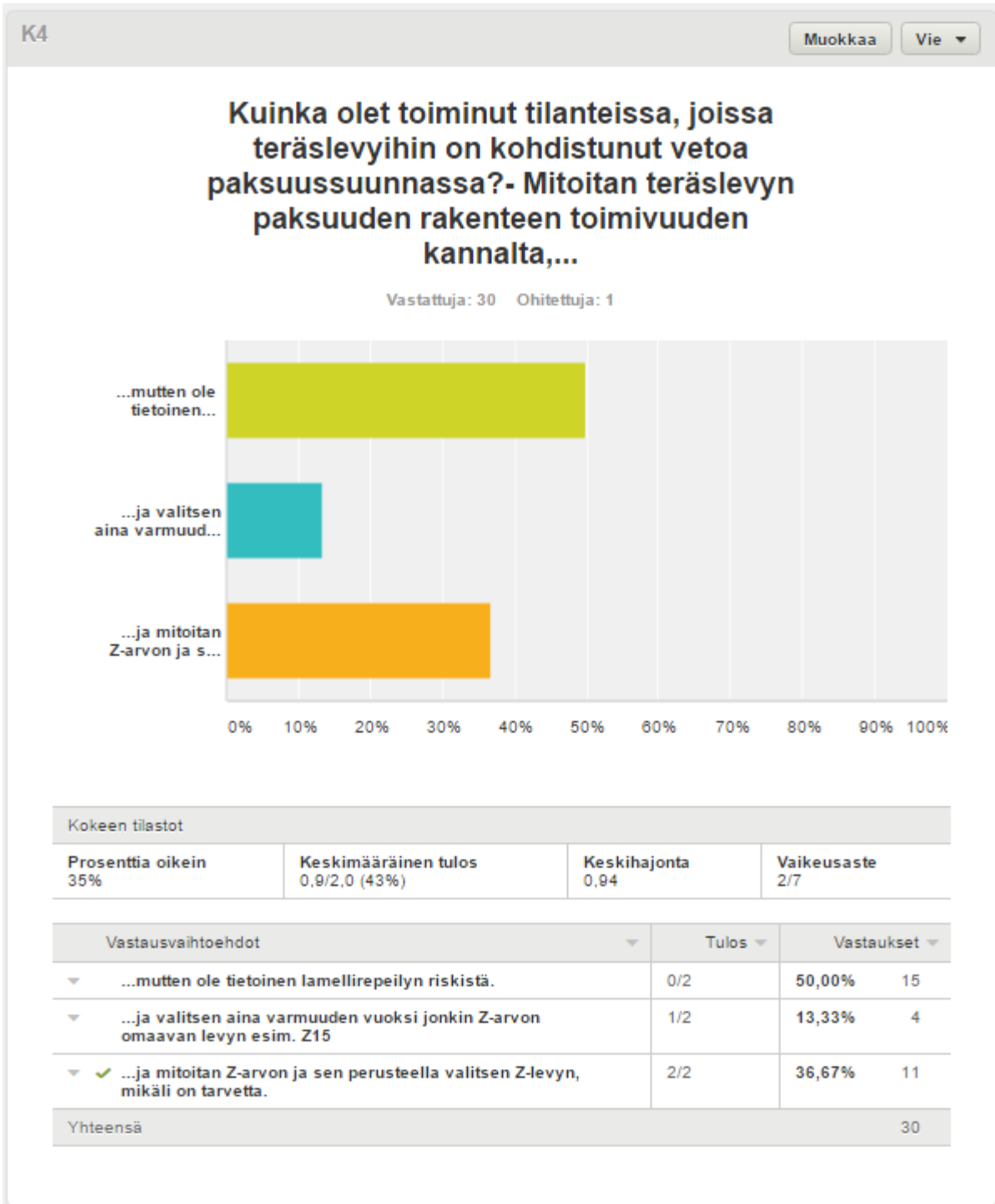
Jeskanen, H. Ultraääniasiantuntija, Dekra. Puhelinhaastattelu 10.5.2017

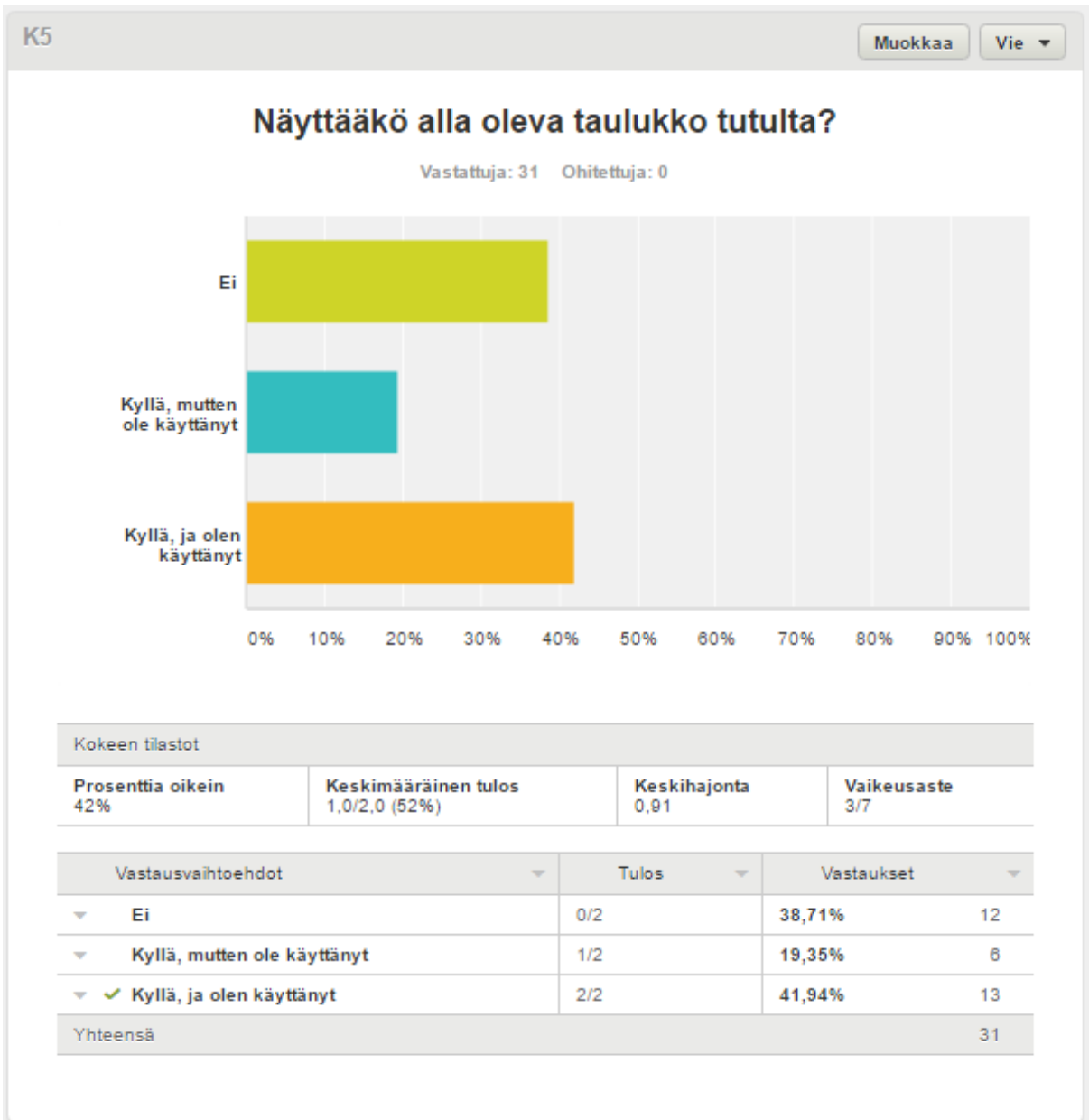
Kyselyn rakenne (SurveyMonkey 2017).

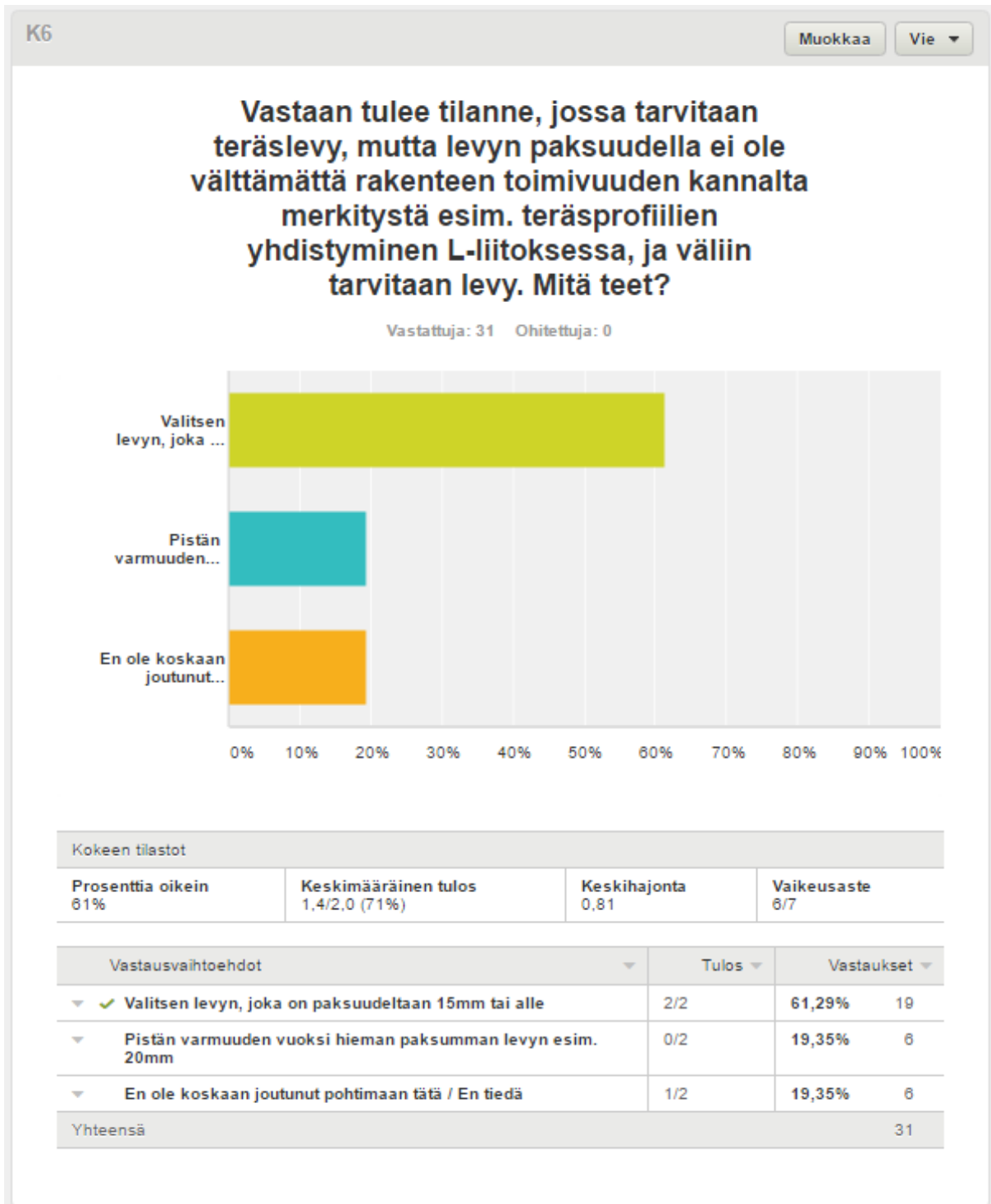


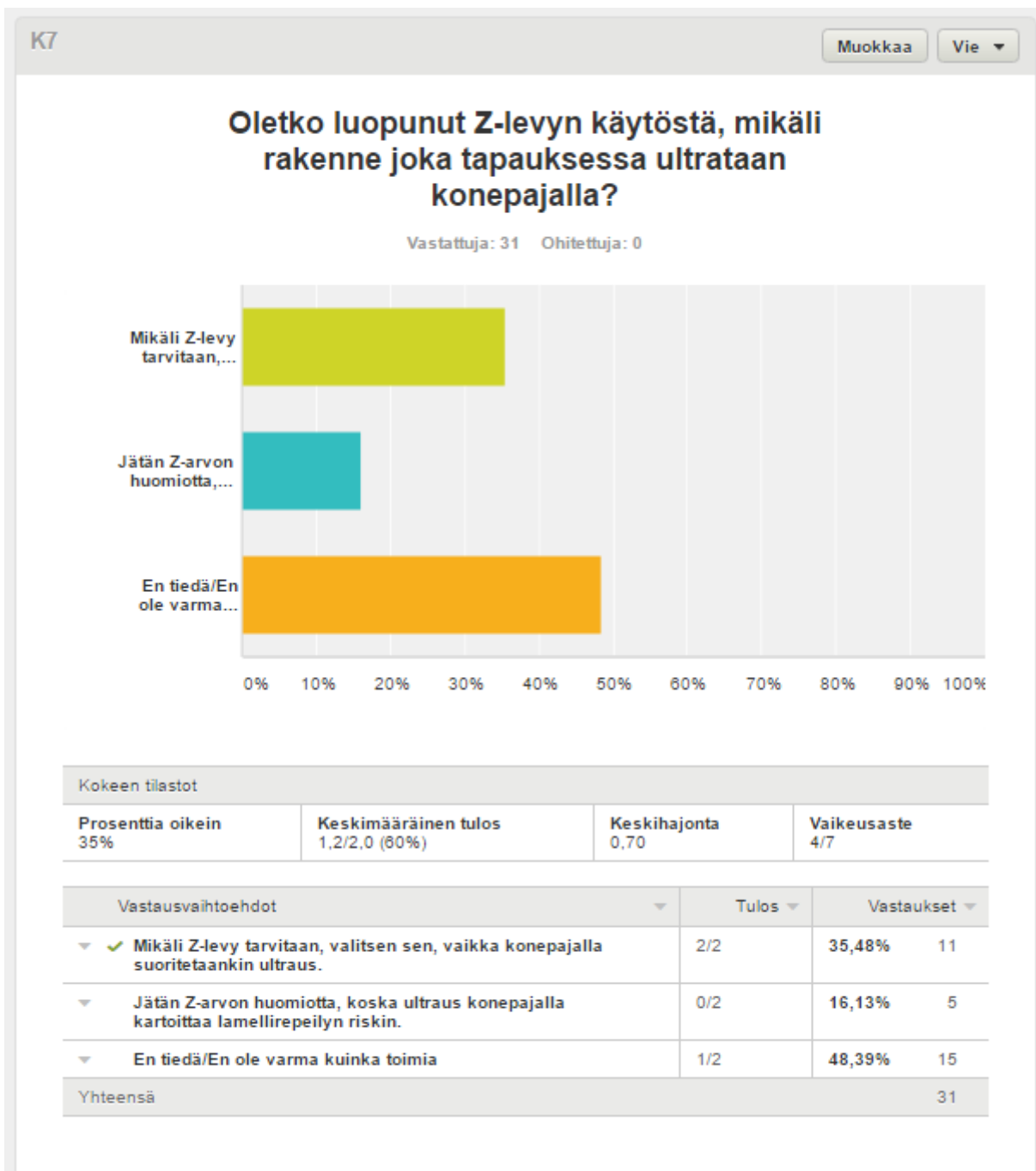












Laatuluokan valinta (Sedlacek ym. 2008, 112).

