

Iiro Eskelinen

Poimulevyn palomitoitus ja suunnitteluohjeen tekeminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

13.11.2018

Tekijä Otsikko	Iiro Eskelinen Poimulevyn palomitoitus ja suunnitteluohjeen tekeminen
Sivumäärä Aika	55 sivua + 1 liite 13.11.2018
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	Rakennetekniikka
Ohjaajat	Rakennetekniikan lehtori, Aarne Seppänen Osaston johtaja, Juha Kukkonen
<p>Opinnäytetyö tehtiin Sweco Rakennetekniikka Oy:lle. Työssä keskityttiin tarkastelemaan poimulevyjä niiden palomitoituksen kannalta. Yritykseltä löytyy jo osaamista ja tietoa poimulevyjen mitoituksesta palotilanteelle, mutta kyseisestä aiheesta kaivattaisiin ytimekäs ohjeistus.</p> <p>Poimulevyt ovat teräksestä valmistettuja kevyitä levyrakenteita. Poimulevyissä on nimensä mukaisesti aaltomaisia poimuja, joiden avulla levy voi toimia kantavana materiaalina pitkissäkin jänneväleissä. Levyt voivat toimia myös osana rakenteen jäykistystä, sekä muiden rakenteiden nurjahdus ja kiepahdus tukina.</p> <p>Poimulevyprofiilien paksuudet vaihtelevat 0,6-1,7 mm välillä. Tulipalossa näin ohuet levyrakenteet lämpenevät nopeasti ja menettävät kantokykynsä. Tästä levyn notkistumisesta seuraa levyn kantokyvyn menetys, jolloin levy päätyy roikkumaan köyden lailla tukiensa väliin. Tätä ilmiötä tutkittiin köysikäyräkäyttämällä.</p> <p>Mitoituksessa tarkasteltiin, mitä tästä palotilanteen kuormien ja jännityksien uudelleen järjestäytymisestä seuraa poimulevyn lisäksi muille kantaville ja jäykistäville rakenteille, sekä liitoksille. Kiinnikkeiden, kuten ruuvien tarkempi palotilanteen tarkastelu ja ominaisuuksiin syventyminen, sekä palosuojaus rajattiin opinnäytetyön ulkopuolelle.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda ohjeistus, joka selittää tiivistetysti ja visuaalisesti oleelliset tiedot poimulevyistä, niiden käyttäytymisestä palotilanteessa köysirakenteena ja mitä tästä seuraa muille rakenteille. Ohjeistuksesta selviää, mitä kaikkea on huomioitava ja ohjeistusta seuraamalla voidaan suorittaa tarvittavat laskutoimitukset.</p>	
Avainsanat	Poimulevy, Köysikäyrä, Palomitoitus

Author Title Number of Pages Date	Ilro Eskelinen Corrugated sheet structure in case of a fire and an instructional manual 55 pages + 1 appendice 13 November 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Professional Major	Structural Engineering
Instructors	Aarne Seppänen, Lecturer Juha Kukkonen, Head of Department
<p>Corrugated sheets are light steel plate structures. They are corrugated to add structural support qualities in extended spans. Sheets can also be used in stiffening structures as well as structural support.</p> <p>Corrugated sheets differ in thickness. They can be between 0.6-1,7mm thick. In the case of a fire these thin plate structures heat up rapidly and lose their carrying capacity. The heat forces the plates to straighten and lose structural support. When the plate straightens and is left hanging between two structures, the phenomenon is called catenary action.</p> <p>The modelling in the study focuses on the changes heat and fire cause to the structural support and tension in corrugated sheets as well as in support structures and supporting joints. Closer examination of screws and other fixation devices is beyond the scope of the present study.</p> <p>The study was made in collaboration with Sweco Rakennetekniikka Oy. The focus is on the dimensions of how the corrugated sheet structure behaves in cases of a fire. There is prior knowledge concerning the matter, but there was a demand for a straightforward instruction manual.</p> <p>The aim of this thesis was to create an instruction manual, explaining the relevant information concerning corrugated sheets in a case of fire, in a compact and visual manner. The manual explains what must be taken into consideration in structures and how the proper mathematical formulas can be utilized in the required calculations.</p>	
Keywords	Corrugated Sheet, Catenary, Fire design

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Poimulevyt	2
2.1	Mitä ovat poimulevyt	2
2.2	Missä / miten kantavia poimulevyjä käytetään	3
2.3	Ominaisuuksia	4
2.3.1	Materiaalit	4
2.3.2	Pinnoitteet	4
2.3.3	Tietoa profiileista	5
2.4	Kantavien poimulevyjen asennusvaihtoehdot	9
2.4.1	Poimulevy primäärikannattimeen eli palkkiin	9
2.4.2	Poimulevy sekundäärikannattimeen eli orteen	10
2.4.3	Rakennemallit	11
2.4.4	Sivuttaislimitys	12
2.4.5	Päittäislimitys	15
2.4.6	Kiinnikkeet	17
2.5	Yhteenvetona poimulevyjen hyvät ja huonot puolet	19
3	Köysikäyräkäyttäytyminen	20
4	Mitoituksen suorittaminen	24
5	Palonmitoituksen eroavaisuudet normaalilämpötilan mitoitukseen	27
5.1	Mitoituskuormayhdistelyt onnettomuusmitoitustilanteessa	27
5.2	Teräksen mekaaniset ominaisuudet	28
5.3	Paloluokat	34
6	Poimulevyn mitoitus köysivoimalle	36
6.1	Köysirakenteen taipuma	36
6.2	Köysivoiman vaakakomponentti H	37
6.3	Paraabelin yhtälö	38
6.4	Köysivoima S	39
6.5	Köysivoiman S aiheuttama venymä	40
6.6	Uusi kokonaispituuden muutos	42
6.7	Vetojännitystarkastelu	45

7	Rakenteiden mitoitus köysivoimalle	46
7.1	Poimulevyrakenteen liitosten mitoitus köysivoimalle	46
7.1.1	Poimulevyn liitos primäärikannattajiin	46
7.1.2	Poimulevyn liitos poimulevyyn	49
7.2	Katon jäykistävien rakenteiden mitoitus köysivoimalle	50
7.2.1	Tuuliristikot	51
7.2.2	Siteet	51
8	Yhteenveto ja loppupäätelmät	52
	Lähteet	54
	Liitteet	
	Liite 1. Poimulevyjen palomitoitus	

1 Johdanto

Poimulevyt ovat teräksestä valmistettuja kevyitä ja ohuita teräsrakenteita. Poimulevyjä valmistetaan monissa eri profiileissa. Yhteistä kaikilla profiileilla ovat aaltomaiset poimut. Levyjen kantavuus perustuu poimuihin, joiden avulla poimulevyt voivat toimia kantavana rakenteena jopa 9 metriä pitkissä jänneväleissä. Lisäksi poimulevyt jäykistävät muuta rakennetta ja toimivat tukiensa kiepahdus ja nurjahdustukina. [1.]

Poimulevyjen paksuudet vaihtelevat vain 0,6-1,7 mm välillä. Tulipalossa näin ohuet rakenteet lämpenevät nopeasti. [1.] Levyjen ominaisuudet muuttuvat lämpötilojen kohoamisen vaikutuksesta. Pituus, kimmokerroin, myötö- ja murtolujuus on muutettava vastaamaan palotilanteen tarkasteluhetken lämpötilaa. Kuormitusyhdistelmät on laskettava onnettomuustilanteen mukaan. [10.]

Tarpeeksi lämmitettyään poimulevy menettää kantokykynsä ja päätyy roikkumaan tukkiensa väliin. Notkistuneella poimulevyllä ei enää ole momenttia tai leikkausvoimaa vaan poimulevy toimii köyden lailla. Kuormituksen uudelleen jakaantumista tutkitaan köysikäyräkäyttäytymisellä. [8.]

Opinnäytetyö on tehty Sweco Rakennetekniikka Oy:lle. Keskityn tarkastelemaan poimulevyjä niiden palomitoituksen kannalta. Yritykseltä löytyy jo ennestään osaamista poimulevyjen palomitoituksesta, mutta aiheesta kaivataan ytimekäs ohjeistus. Opinnäytetyön tavoitteena on luoda tiivis ohjeistus, jota seuraamalla osataan etsiä poimulevyistä mitoitukseen tarvittavat tiedot ja johdatella tarvittavat laskutoimitukset läpi. Opinnäytetyön liitteenä on ohjeistus, jonka pohjalta luotiin yrityksen omalle dokumenttipohjalle lopullinen versio, joka luovutettiin yrityksen käyttöön.

Opinnäytetyössä esitettyjen poimulevyjen ominaisuudet ja asennusvaihtoehdot on pyritty rajaamaan laskennassa tarvittaviin tietoihin. Tarkoituksena on ollut luoda havainnollistava pohja, jonka avulla tiedetään mitä lasketaan ja mistä kaikki tarvittavat tiedot löytyvät. Mitoituksessa on tarkasteltu kuormien uudelleen jakaantumisen lisäksi, miten köysirakenteen voimat on huomioitava poimulevyjen liitoksia ja muita rakenteita mitoittaessa. Kiinnikkeiden syvempi tutkiminen ja rakenteiden palosuojaus on rajattu opinnäytetyön ulkopuolelle.

2 Poimulevyt

2.1 Mitä ovat poimulevyt

Poimulevyt ovat teräksestä valmistettuja ohuita levyrakenteita.

Poimulevyprofiileja löytyy laaja valikoima, joten käytettävän profiilin valintaan voivat vaikuttaa sekä esteettiset, että rakenteelliset vaatimukset. Ohutlevyjä saa useissa eri väreissä ja muodoissa. Levyjen muodot vaihtelevat erikorkuisista aaltokuvioista jopa tiilikattoa imitoiviin profiileihin. [3.]



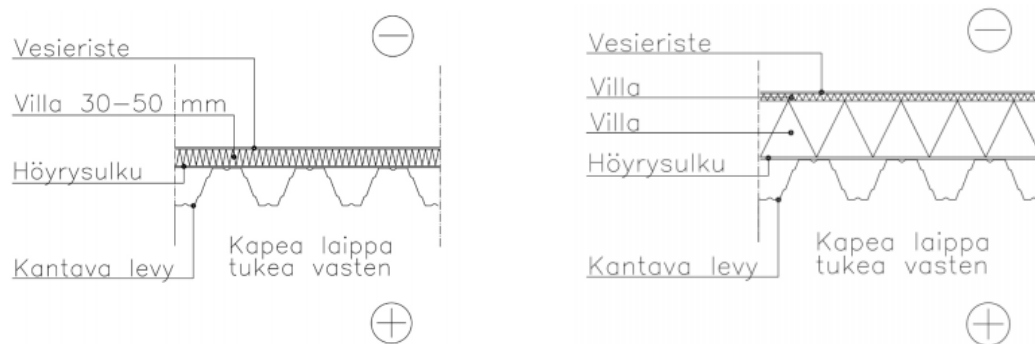
Kuva 1. Kantava poimulevy T45-30L-905 [16.]

Levyihin ei olla kuitenkaan esteettisyyden vuoksi luotu poimuja, vaan levyjen kantokyky perustuu niihin. Poimulevyjen valmistajat, kuten Ruukki, jaottelevat poimulevyt vielä erikseen kantaviin poimulevyihin. [3.] Tässä opinnäytetyössä keskitytään niihin. Kantavien poimulevyjen paksuudet vaihtelevat 0,6-1,7 mm välillä. Tästä ohuudesta, eli rakenteen keveydestä huolimatta kantava poimulevy voi olla kantavana rakenteena jopa 9 m pitkässä jännevälissä ja toimia osana rakenteen jäykistystä. [2.] Tällä kevyellä teräsosalla on mahdollista saavuttaa suuria kustannussäästöjä. [1.]

2.2 Missä / miten kantavia poimulevyjä käytetään

Kantavia poimulevyjä voidaan käyttää seinä, alapohja, välipohja ja kattorakenteena. [1.] Lisäksi poimulevyjä voidaan käyttää valumuotteina, esimerkiksi ala- ja välipohjissa. [4.] Tässä opinnäytetyössä keskitytään tarkastelemaan kattorakenteita.

Yksinkertaisimmillaan poimulevyn käyttö esiintyy kattorakenteena, jossa poimulevy on asennettu leveämmät laipat alaspäin vesikaton primäärikannattimina toimivien palkkien päälle. Orsia ei välttämättä tarvita, koska poimulevyillä päästään jopa 9 metriä pitkiin jänneväleihin. Tällä tavalla saadaan rakennettua yhdellä rakennusosalla vesikatto, joka toimii samalla myös kantavana ja jäykistävänä rakenteena. [2.] Edellä esitettyä kattorakennetta kutsutaan lämpöeristämättömäksi eli ”kylmäksi katoksi”. Kylmät katot soveltuvat katoksiin ja tiloihin, joissa ei tarvitse olla ympärivuotista lämmitystä. Tällaisia tiloja voivat esimerkiksi olla maatalousrakennukset ja urheiluhallit. [1.]



Kuva 2. Esimerkit puolilämpimästä ja lämpimästä kattorakenteesta [7.]

”Puolilämpimässä katossa” ja ”lämpimässä katossa” oleellisena erona edelliseen on lämmöneristys. Eristetty kattorakenne muodostuu kantavasta poimulevystä, jonka päälle tulee höyrysulku, lämmöneriste, kuten mineraalivilla tai solumuovi ja päällimmäiseksi vesikatelevy, tai vedeneristys. Eristetyssä kattorakenteessa poimulevy asennetaan leveämpi laippapuoli ylöspäin. Näin saadaan villalle enemmän tukileveyttä aikaiseksi. Näin päin poimulevyllä on yleensä myös enemmän kuormituskapasiteettiä. Poimulevyprofiilin ja eristeiden yhteensopivuus on kuitenkin aina tapauskohtaisesti tarkistettava. Poimulevyn on kyettävä tukemaan eristettä tarpeeksi, jotta eriste ei pääse uppoamaan poimulevyyn ja toisinpäin. Eristettyä kattorakennetta käytetään yleisesti teollisuuden kantavina kattorakenteina. [1.]

2.3 Ominaisuuksia

2.3.1 Materiaalit

Ohutlevyrakenteet valmistetaan kylmävalssatusta ja kuumasinkitystä keloissa toimitettavaa teräslevystä, josta levy muotoillaan rullamuovaamalla halutuksi profiiliksi. Materiaalina valmistuksessa käytetään pääasiassa normin SFS-EN 10147 mukaista teräslautaa S350GD+Z. Tämän yleisimmin käytetyn materiaalin myötölujuus on 350 N / mm² ja murtolujuus 420 N / mm². Myötö- ja murtolujuudet lopuille oleellisille teräslaaduille on valikoitu alla olevaan taulukkoon. Poimulevyjä voidaan erikoistilauksesta valmistaa myös ruostumattomasta teräksestä ja alumiinista. [1.]

Taulukko 1. Poimulevyjen mitoitusta varten oleellisten teräslautujen myötö- ja murtolujuudet.

	Myötölujuus F _y N / mm ²	Murtolujuus F _u N / mm ²
S280GD+Z	280	360
S320GD+Z	320	390
S350GD+Z	350	420
S550GD+Z	550	560

[1.]

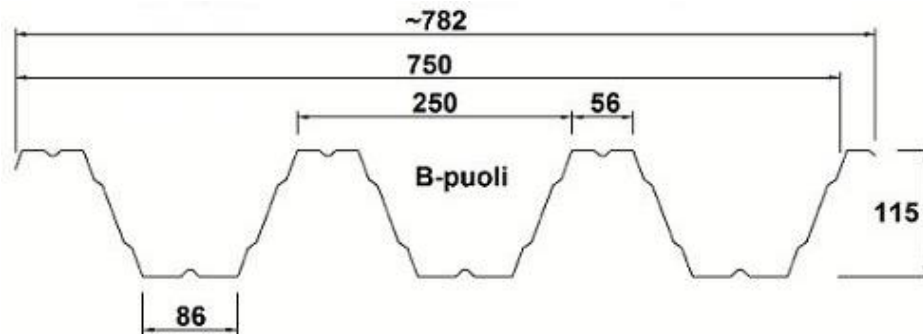
2.3.2 Pinnoitteet

Vesikatoissa eli kylmissä kattorakenteissa kantavien levyjen pinnoitteena käytetään yleensä sinkitystä tai PVDF- tai Pural-maalipinnoitetta. Lisäksi lähinnä juuri kylmiä kattorakenteita varten on kehitetty Antikondenssipinnoitteita, joiden on tarkoitus sitoa itseensä kosteutta ja tällä tavoin estää vesipisaroita muodostumasta profiilien alapintoihin. [1.] Ruukilla on tarjolla poimulevyn sisäpintaan ruiskutettava perliittirakeita, selluloosakuituja, vettä ja sideaineita sisältävä Antikondenssipinnoite. [2.] Wecman Steel Oy:llä on edellisen kaltaisen pinnoiteratkaisun lisäksi tarjolla profiiliin alle liimattava Pes-huopamatto. [5.]

Eristetyissä eli puolilämpimissä ja lämpimissä katoissa kantavien poimulevyjen pinnoitteina käytetään sinkitystä tai polyesteripinnoitetta. [5.]

2.3.3 Tietoa profiileista

Tällä hetkellä valmistuksessa olevista kantavista poimulevyprofiileista kapein on 840 mm ja levein 1058 mm. Kuten alla olevasta profiilin esimerkkikuvasta huomataan, leveyttä ei ole ilmoitettu tarkasti profiilin todellisena leveytenä vaan hyötyleveytenä. Hyötyleveydellä on suunnitelmien kannalta suurempi merkitys. Se on leveys, joka jää jäljelle normaalin sivuttaislimityksen jälkeen. [2.]



Kuva 3. Weckman Steel Oy:n kantava poimulevy W-115-750. Poimulevyn nimi kertoo levyn korkeuden ja hyötyleveyden. [17.]

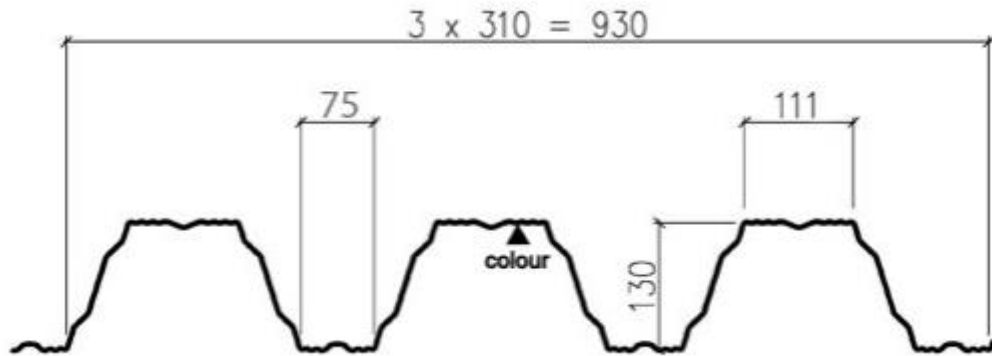
Poimulevyjen pituus mitataan poimujen suuntaisesti. Profiilien minimipituus on 500 mm ja maksimipituus 18300 mm. Levyt tilataan määrämittaisina tarpeen mukaan. Tällä hetkellä valmistettavista kantavista poimulevyistä matalin on 45 mm [4.] ja korkein 154 mm. [5.] Ainevahvuus, eli profiilissa käytetyn pellin paksuus on ohuimmillaan 0,6 mm ja paksuimmillaan 1,5 mm. Suositeltava minimipaksuus on 0,7 mm, jolloin profiilin pistekuorakestävyys on riittävä katolla kävelemiseen asennuksen aikana. [2.] Edellä mainituista poimun, eli uuman korkeus ja käytetyn levyn paksuus vaikuttavat profiilin kantavuuteen.

Eri valmistajat esittävät poimulevyt pienin eroin yllä olevan kuvan tapaisesti. Kuvasta huomataan, että levyillä on tyypillisesti kaksi eri laipan leveyttä. Kylmissä katoissa poimulevy asennettaisiin kuvanmukaisesti, ja lämpimissä katoissa levy asennettaisiin toisinpäin, jotta päälle tuleva lämmöneriste saisi mahdollisimman paljon tukipintaa. [1.]

Kuvaan on merkitty B-puoli, jonka avulla käyttötarkoituksen mukaan levyjä tilattaessa ilmoitettaisiin esimerkiksi, kummalle puolelle halutaan mahdollinen esiin jäävä maali-pinta.

Allaolevasta kuvasta huomataan myös, että poimulevyjen ”isojen pää poimujen” lisäksi poimujen laipoissa ja uumissakin on pienempiä poimuja.

Ruukin valikoimassa on alla olevasta kuvasta löytyvä kantava poimulevy T130M-75L-930. Erona edellisivun profiiliin tässä profiilissa ylä- ja alalaipoissa on mikroprofiilointi.



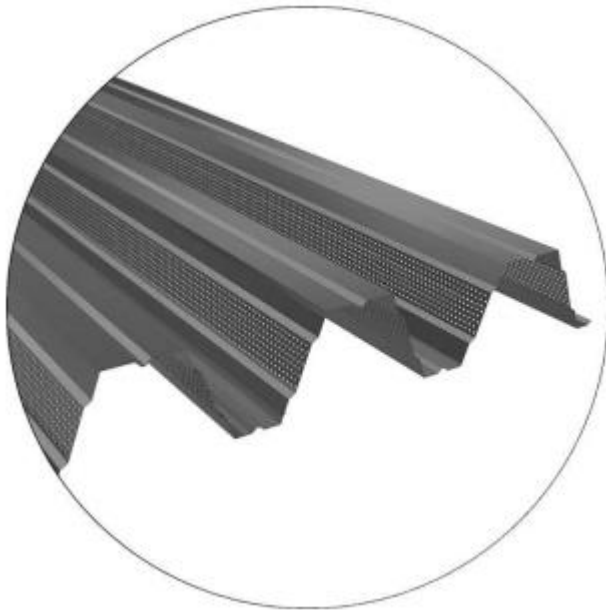
Kuva 4. Kantava poimulevy T130M-75L-930. [16.]

Ruukin poimulevyt on nimetty poimulevyn ominaisuuksien mukaan. T kertoo, että kyseessä on suoraaurainen poimulevy. 130 on levyn korkeus, jonka perässä kirjain M kertoo profiilin olevan mikroprofiiloitu. 75 on kapeamman laipan leveys. L on lyhenne ”load bearingista”, eli levy on kantava ja lopussa oleva 930 on hyötyleveys. [2.]

Yllä olevaa poimulevyä T130M-75L-930 on verrattu vanhempaan poimulevy malliin T130-75L-930. Nimistä huomataan, että kyseessä on tismalleen samat profiilit, paitsi jälkimmäisessä ei ole mikroprofiiloitua. Tutkimuksissa on huomattu mikroprofiiloinnin lisäävän taivutuskestävyyttä jopa 20%. Myös kuormituskapasiteetti lisääntyy, jolloin mikroprofiilittomaan verrattuna mikroprofiilillinen voi kantaa samat kuormat ohuemmillä levy-paksuuksilla. Tämä tarkoittaa, että profiileihin kuluu entistä vähemmän terästä, jolloin poimulevyistä saadaan entistä kevyempiä.

Profiilien maksimi jännevälejä ei ole ilmoitettu täsmällisesti. Esimerkiksi yllä olevalle profiililla ”tyypilliseksi jänneväliksi” on ilmoitettu ” > 5 m ”. Tämä johtuu siitä, että maksimi jänneväliin vaikuttavat profiilin kapasiteetin lisäksi muun muassa rakennemalli, kuormitus ja sallittu taipumaraja.

Poimulevyjen uumiin on mahdollista tehdä kuvan 5 mukainen akustorei'itys. [1.] Rei'itetty poimulevy ei tietenkään voi toimia vesikattona, joten hyvän sisääkustiikan, eli lyhyen jälkikaiunta ajan saavuttaminen tällä menetelmällä on mahdollista vain eristetyssä kattorakenteessa, tai eristetyssä seinärakenteessa. Uuman rei'itys toteutetaan 3 mm rei'illä (kolmijako; c/c 7.4 mm) niin, että rei'ityspinta-alasta 15% on reikää. [2.] Tällaisella rei'ityksellä on vähäinen vaikutus profiilin kantokykyyn. Momenttikapasiteetti pienenee vain 4% ja tukireaktiokapasiteetti noin 10%. [1.]



Kuva 5. Akustorei'itys. Käytetään esim. urheiluhalleissa. [6.]

Seuraavan sivun kuvassa 6 on jo aikaisemmin esitellyn mikroprofiloidun kantavan poimulevyn T130M-75L-930 materiaalitiedot. Sivu on kaapattu valmistajan, Ruukin internetisivulta löytyvän kyseisen poimulevyn tuotetiedot esitteestä. Esitteestä huomataan, että samaa profiilia voidaan saada useammalla eri materiaali paksuudella, eri sinkkipitoisuudella, pinnoite- ja väri vaihtoehdoilla, sekä korroosioluokissa. Viimeistään tässä vaiheessa voi tehdä huomion, että sopivaa poimulevyä miettiessä tarjolla on paljon vaihtoehtoja.

Palonmitoituksen kannalta esitteestä tärkeänä tietona löydetään teräslaji, jolla saadaan myötö- ja murtolujuus, sekä profiilin paino, jonka avulla saadaan laskettua kuormitukset ja selvitettyä profiilin leikkauspinta-ala.

Materiaali paksuus(mm)	Teräslaji	Sinkki(g/m ²)	Pinnoite	Korroosioluokka, sisätilat	Korroosioluokka, ulkotilat	Värit	Paino(kg/m ²)
0.7	S350	Z275	Sinkitty	C2	-	-	8.86
0.7	S350	Z100	Polyesteri 15	C2	-	RR20	8.86
0.7	S350	Z275	Polyesteri 25	C3	C3	RR20	8.86
0.8	S350	Z275	Polyesteri 25	C3	C3	RR33	10.13
0.8	S350	Z275	Sinkitty	C2	-	-	10.13
0.8	S350	Z100	Polyesteri 15	C2	-	RR20	10.13
0.9	S350	Z275	Sinkitty	C2	-	-	11.40
0.9	S350	Z100	Polyesteri 15	C2	-	RR20	11.40
1.0	S350	Z275	Sinkitty	C2	-	-	12.66
1.0	S350	Z100	Polyester 15	C2	-	RR20	12.66
1.0	S350	Z275	Polyester 25	C3	C3	RR20, RR33	12.66
1.0	S350	Z275	Pural	-	C4	RR23	12.66
1.2	S350	Z275	Sinkitty	C2	-	-	15.19
1.2	S350	Z100	Polyesteri 15	C2	-	RR20	15.19
1.2	S350	Z275	Polyesteri 25	C3	C3	RR33	15.19
1.5	S350	Z275	Sinkitty	C2	-	-	18.99
1.5	S350	Z100	Polyesteri 15	C2	-	RR20	18.99

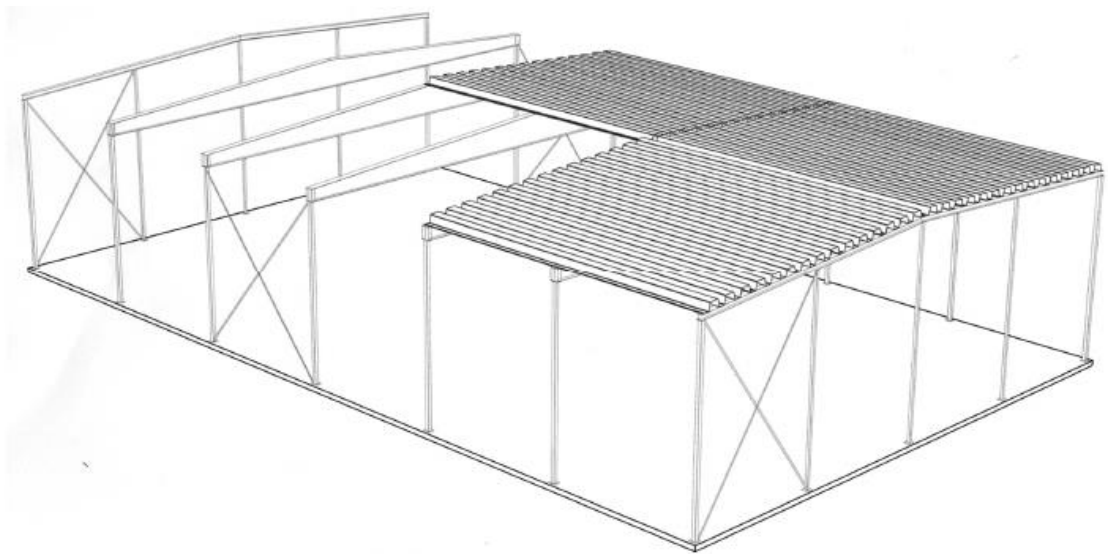
Kuva 6. Kantavan poimulevyn T130M-75L-930 materiaalitiedot kyseisen poimulevyn tuotetiedot esitteestä. Vastaavia esitteitä löytyy poimulevyvalmistajien tai myyjien internettisivuilta. [16.]

Yhteenvetona maksimi jänneväliin vaikuttavasta kuormituskapasiteetista: profiilien kantavuutta voidaan hieman heikentää akustorei'ityksellä. Vahvistaa suurentamalla materiaalivahvuutta, eli paksuntamalla levypaksuutta, tai korottamalla uumaa, eli vaihtamalla profiili korkeapoisemmaksi profiiliksi tai valitsemalla profiili, jossa on mikroprofiointi.

2.4 Kantavien poimulevyjen asennusvaihtoehdot

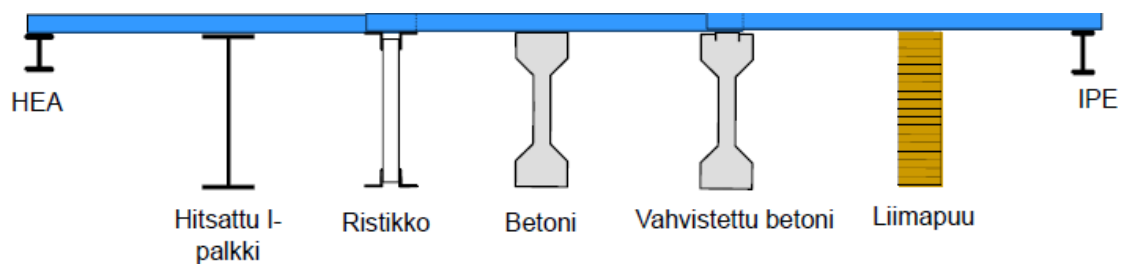
2.4.1 Poimulevy primäärikannattimeen eli palkkiin

Kattojen rakenteet perustuvat primäärikannakkeisiin eli palkkeihin ja sekundäärikannakkeisiin eli orsiin. Kantavat poimulevyt voivat olla kantavana rakenteena jopa 9 m pitkässä jännevälissä, joten orsia ei välttämättä tarvita. Alla olevassa kuvassa poimulevyt on asennettu palkkien päälle. Poimulevyjen poimujen väliin muodostuvat urat on asennettu rakennuksen harjan ja räystäiden suuntaisesti. Eli urat menevät ristiin kannakkeina toimivien palkkien kanssa.



Kuva 7. Poimulevyt asennettuna palkkien päälle. [2.]

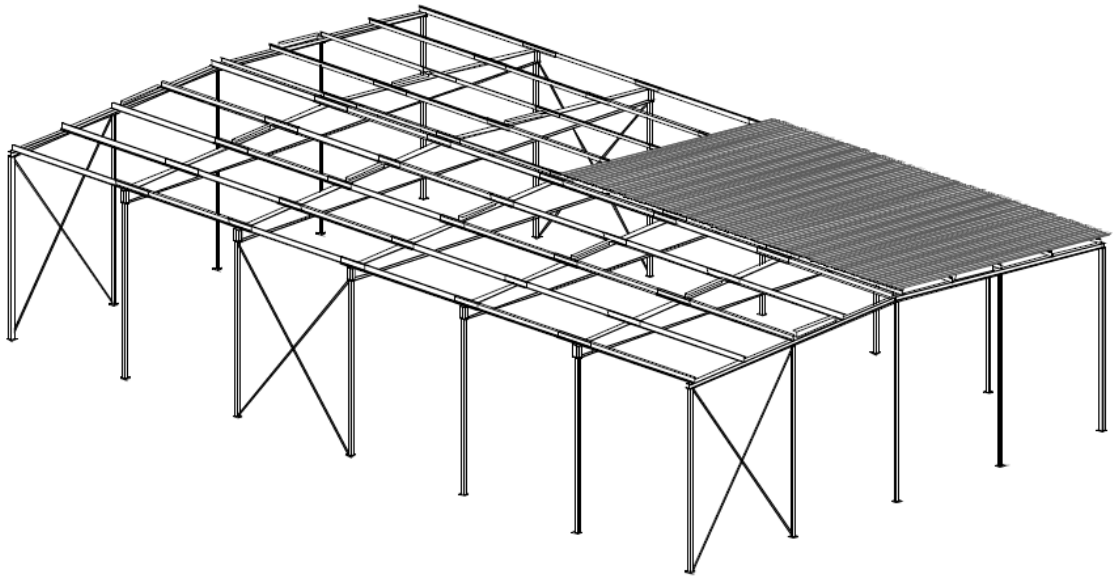
Alta löytyvässä kuvassa 8 on esitelty eri palkkityypit. Materiaalina voi olla teräs, puu tai betoni. Kiinnike vaihtoehdot eri palkkeihin ja palkkien materiaaleihin löytyvät luvusta Kiinnikkeet.



Kuva 8. Palkkityypit. [2.]

2.4.2 Poimulevy sekundäärikannattimeen eli orteen

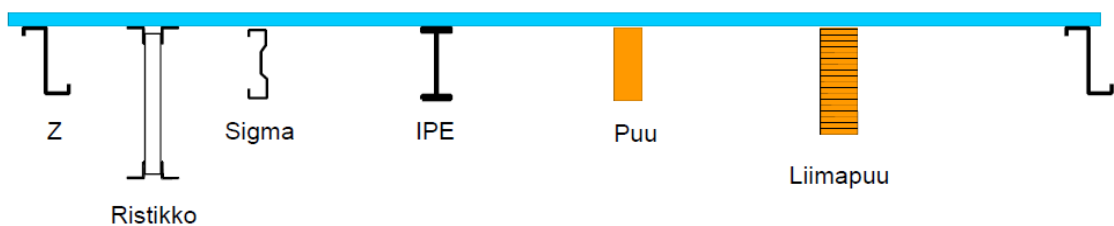
Alla olevan kuvan rakenteeseen on lisätty orret. Orret menevät rakennuksen harjan suuntaisesti ristiin palkkien kanssa. Poimulevyt on asennettu orsien päälle. Lisäksi edelliseen verrattuna poimulevyjen asennussuuntaa on käännetty 90 astetta, jolloin poimulevyjen urien suunta menee ristiin kannakkeina toimivien orsien kanssa.



Kuva 9. Poimulevyt asennettuna orsien päälle [2.]

Alta löytyvään kuvaan on esitelty eri orsityypit. Kuvasta voi panna merkille, että orsina voidaan käyttää samoja profiileja ja materiaaleja, joita esiteltiin edellisen sivun palkkityypit kuvassa. Näitä palkeiksi ja orsiksi esiteltyjä ovat ristikko, IPE ja liimapuu.

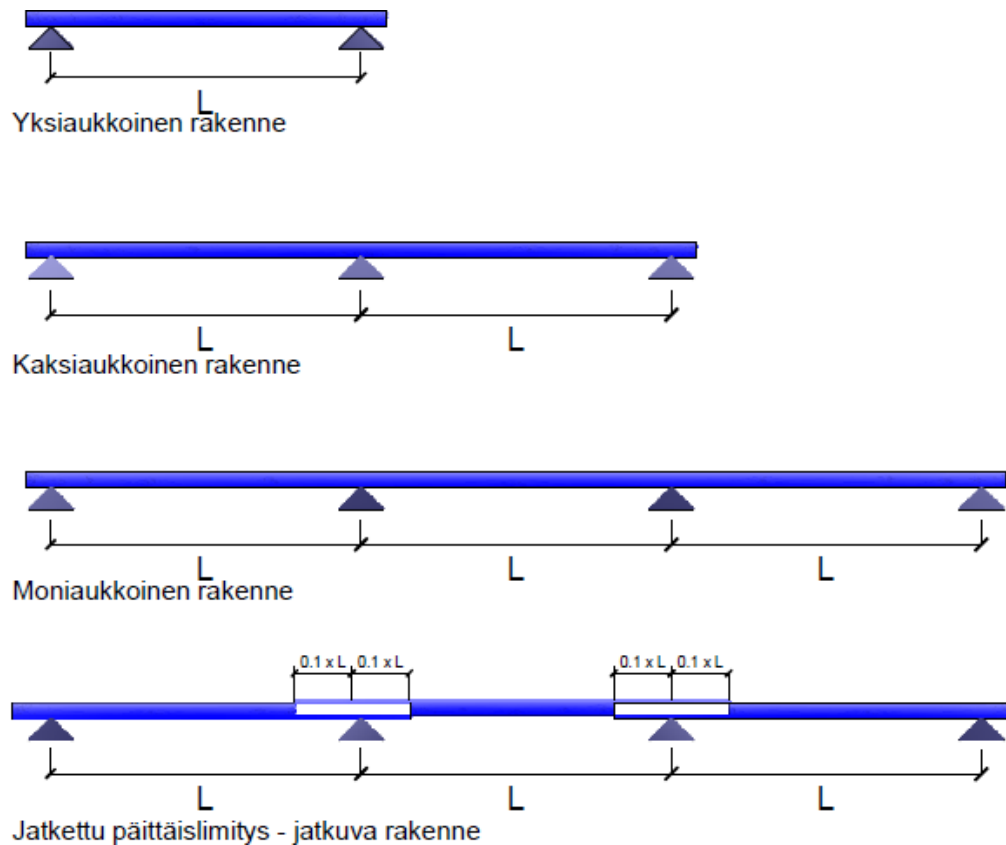
Alla olevien orsien joukossa on kolme ortta, jotka kuuluvat kevytorsiin. Näitä orsia ovat Sigma ja kaksi erilaista Z-ortta, joista oikeanpuolimmaisessa on vinouuma. Kevytorret ovat poimulevyjen tavoin kevyitä ja ohuita teräsrakenteita. [1.]



Kuva 10. Orsityypit [2.]

2.4.3 Rakennemallit

Kuvasta 11 löytyy rakennemallit. Rakennemalleissa "L" on jännevälän pituus. Kuvissa poimulevyt ylittävät tuet niin, että niiden pituussuunta on jännevälän suuntainen. Toisin sanoen poimulevyjen urat kulkevat ristiin tukien kanssa. Poimulevyt ovat jälleen kerran samoin päin tukiin nähden kuin edellisissä luvuissa, joissa tukina toimivat palkki tai orsi.



Kuva 11. Rakennemallit [2.]

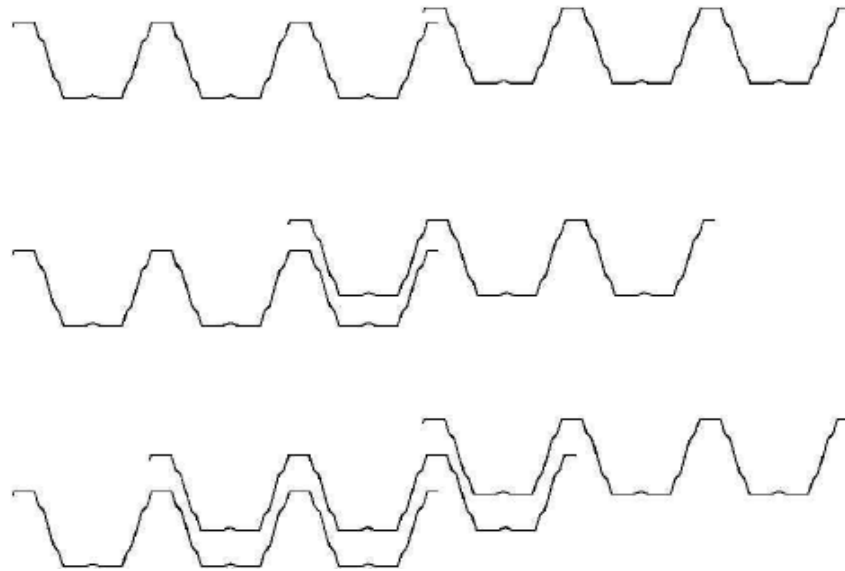
Yksiaukkoisessa rakenteessa jänneväli voisi olla, vaikka poimulevyjen maksimi jänneväli 9 m. Jos kuitenkin kuormitus olisi liikaa tuolle jännevälille, voisi jännevälän jakaa kaksi tai moniaukkoiseksi rakenteeksi. Jaon voisi tehdä lähentämällä mahdollista palkkirakennetta, tai lisäämällä rakenteeseen orret. Myös käyttämällä maksimi pituista 18,3 m pitkää poimulevyä päädyttäisiin väistämättä muuhun kuin yksiaukkoiseen rakenteeseen.

Kaksi- tai moniaukkoisen rakenteen ylittävä poimulevy on todellinen jatkuva rakenne, mutta myös alimpana esimerkkinä oleva jatkettu päittäislimititys saa useammasta poimulevystä koostuvan rakenteen toimimaan jatkuvan rakenteen tavoin. Jatkuva rakenne on yleisesti edullisin vaihtoehto. [2.]

2.4.4 Sivuttaislimitys

Normaali sivuttaissuuntainenlimitys on reunalaipan leveyden verran. [6.] Tämä on esitetty alla olevan kuvan limityksistä ylimpänä. Lisätarve sivuttaislimitykselle riippuu kuorimituksesta [1.], poimujen korkeudesta ja katon kaltevuudesta. [2.]

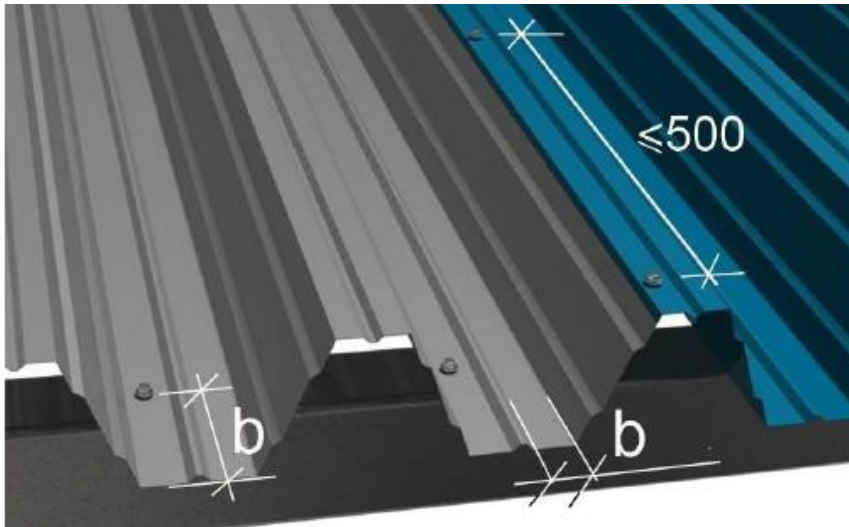
Varsinkin pitkillä ja loivilla harjalta räystäälle vievillä lappeilla saattaa rankkasateella varuluvan veden pinta nousta yllättävän korkealle ja jopa poimujen yli. Vedenpaine saattaa vaarantaa liitoksien ja profiilit lävistävien kiinnikkeiden vesitiiviyyden. Tämänkaltaisiin kattoihin suositellaan käytettäväksi korkeita profiileita, ylimääräistä tiivistystä, kuten saumoihin asennettavaa tiivistyskaistaletta, tai matalilla profiileilla kuvan keskeltä löytyvää yhden aallon ylimääräistä sivuttaislimitystä. [1.]



Kuva 12. Poimulevyjen sivuttaislimitys. Ylimpänä normaali limitys, keskellä yhden aallon lisälimitys ja alimpana tuplalimitys. [6.]

Levyjä voidaan paikallisesti vahvistaa lisälimityksellä. Esimerkiksi paikoissa, joissa lumella on kinostumisen mahdollisuus, voidaan levyn kantavuutta vahvistaa yhden tai useamman aallon verran. Yllä olevassa kuvassa on kolmiaaltainen profiili. Alimpana profiileja on limitetty kahden aallon verran, josta seuraa keskimmaiselle levyille tuplalimitys. [6.] Kaksi levyä päällekkäin kaksinkertaistaa kantavuuden. [2.]

Sivuttaislimityksen liitos ei välttämättä tule yllä olevan kuvan mukaisesti aallonharjalle. [1.] Seuraavilta sivuilta löytyvät eristämättömän kattorakenteen kiinnikkeiden sijainnit verrattuna eristettyyn kattorakenteeseen.



Kuva 13. Kiinnikkeiden paikat eristämättömässä kattorakenteessa. [6.]

Yllä olevassa kuvassa on eristämätön vesikattorakenne ja seuraavan sivun kuvassa 14 rakenne, josta tulee eristetty lämmin kattorakenne. Molemmista kuvista huomataan, että kiinnikkeet, joilla poimulevyt kiinnitetään tukiin, ovat samoissa paikoissa. Levyt on kiinnitetty tukeen alalaippojen tasaiset osat keskeltä lävistävällä kiinnikkeellä. Kuvissa kiinnikkeen reunaetäisyyttä kuvaavan mitan ”b” on oltava vähintään 25 mm. [7.] Tiedot eri kiinnikkeistä eri palkki ja orsi materiaaleihin esitellään luvussa ”2.4.6 kiinnikkeet”.

Eristettyjen ja eristämättömien kattojen poimulevyissä voi olla yllättävän paljon eroavaisuuksia pinnoitteiden ja koostumusten puolesta. Näiden kahden kuvan vertailussa keskitytään kiinnittämään huomiota kahteen asiaan. Miten päin poimulevyt on tuen päälle asennettu ja missä sijaitsevat sivuttaislimityskiinnikkeet.

Yllä olevan kuvan 13 poimulevyt on asennettu vesikattorakenteen vaatimusten mukaisesti leveä laippa alaspäin. Näin poimulevyjen sivuttaisliitos ja limitys kiinnikkeet tulevat edellisen sivun kuvan 12 tapaan poimun harjalle.

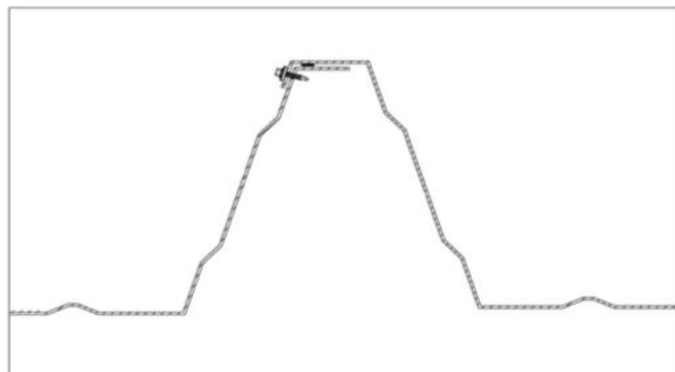
Seuraavan sivun kuvan 14 poimulevyt on asennettu eristetyn katon vaatimusten mukaisesti leveämpi laippa ylöspäin. Tällöin sivuttaisliitos ja limityskiinnikkeet tulevat aallon pohjalle. Tällä tavoin kiinnikkeet eivät ole poimulevyn päälle asennettavan eristeen ja mahdollisen höyrynsulkumuovin tiellä. Näin päin leveämpi laippa myös antaa kapeampaa laippaa paremmin tukea päälle tuleville eristeille.



Kuva 14. Poimulevyn kiinnikkeiden paikat eristetyssä katossa. [6.]

Kuten kuvia vertaillen huomataan sivuttaislimitys kiinnikkeiden kiinnikeväli saa olla molemmissa tapauksissa enintään 500 mm. Poimulevyjä käytettäessä rakenteen jäykistävänä rakenneosana saattaa kiinnikeväli olla lyhyempi. [7.] Kaikki kiinnikemäärät, kiinnikkeiden väliset etäisyydet ja reunaetäisyydet tulee aina tapauskohtaisesti tarkistaa.

Levyt tulee kiinnittää jokaisesta saumasta toisiinsa rakennesuunnittelijan määrittämällä limitysruuveilla tai niiteillä. Molemmissa kuvissa limityskiinnikkeen sijainti on tukeen tulevan kiinnikkeen tapaisesti sijoitettu laipan tasaisen osan keskelle. Kiinnike kuitenkin vesikattorakenteessa voidaan sijoittaa myös alla olevan kuvan tapaan aivan uuman yläreunaan. Levyjä kiinnitellessä on aina varmistettava, että kiinnikkeet lävistävät kaikki levyt. [7.]

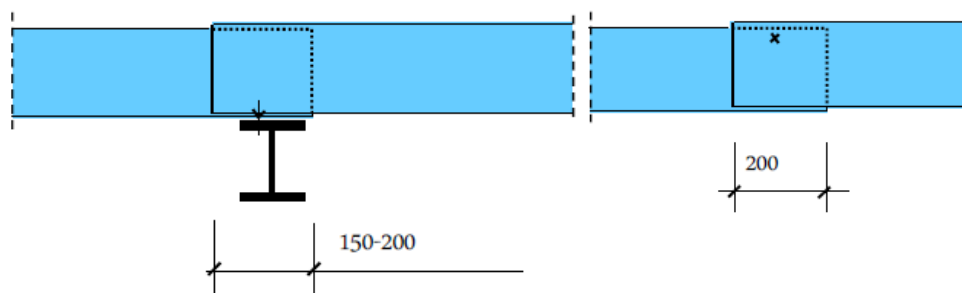


Kuva 15. Sivuttaislimitysliitos, joka on tehty uuman yläreunaan. [7.]

2.4.5 Päittäisliimitys

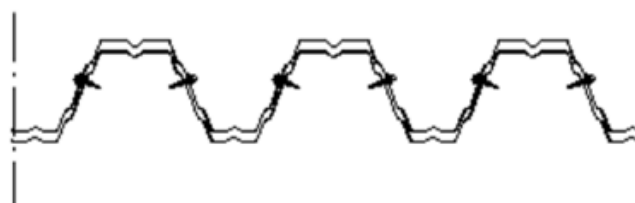
Poimulevyä limitetään myös pituutta jatkaessa. Pituussuunnassa syntyvää limitystä kutsutaan päittäisliimitykseksi. Poimulevyt voidaan liittää joko tuella tai kentässä. Liitokset voivat toimia nivel- tai momenttijäykkäliitoksina, joten poimulevyjen jatkos voidaan halutessa saada toimimaan jatkuvan rakenteen tavoin. Liitostyyppejä tulee miettiä millä tavoin koko rakenteen halutaan kokonaisuudessaan toimivan. [1.]

Päittäisliimityksessä levyjä tulee limitää päällekkäin vähintään 150 mm. Alla olevat niveljatkokset voitaisiin molemmat toteuttaa tällä minimillä. Liitoksissa kiinnike, esimerkiksi limitysruuvi, sijoitetaan limityspituuden keskelle. Tuelle tulevassa niveljatkoksessa limitettävät levyt on kiinnitetty toisiinsa ja tukeen alalaidojen tasaiset osat keskeltä lävistävällä kiinnikkeellä. [1.]



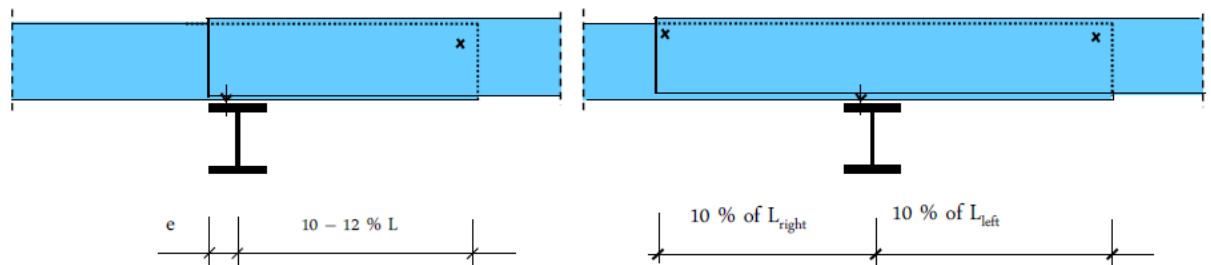
Kuva 16. Vasemmalla niveljatkos tuella ja oikealla niveljatkos, jota kutsutaan Gerber-jatkokseksi tai liitokseksi. [2.]

Kuvasta 16 oikealta löytyvä Gerber-jatkos toimii edellisen liitoksen tapaan nivelenä. Gerberjatkosta ei sijoiteta tuelle vaan kenttään momentin nollakohtaan. Eroa edelliseen niveljatkokseen ovat myös kiinnikkeiden sijainnit. Limitetyt levyt on kiinnitetty toisiinsa uumien yläosista alla olevan kuvan 17 mukaisesti. Tämän liitoksen hyvinä puolina ovat liitokseen kuuluva vähäinen levyn määrä ja huonona kiinnikkeiden määrän kasvu, joka johtaa asennustyön vaikeutumiseen. [1.]



Kuva 17. Kiinnikkeet jatkosliitoksissa, joissa levyt kiinnitetään toisiinsa uumista. [2.]

Pidennetyt päittäisliimitykset muistuttavat jonkin verran edellisen sivun nivelinä toimivia liitoksia. Pidennettyjä päittäisliimityksiä voidaan käyttää tuilla tai keskikentillä. Keskikenttään eli suurimman momentin omaavaan kohtaan sijoitettuna pidennetty päittäisliimitys vahvistaa levyrakennetta, jolloin levypaksuuksia voidaan ohentaa. Pidennetty liityspituus perustuu pituusliityskokeisiin, joilla optimaaliseksi liityspituudeksi on todettu 10% limitettävän aukon pituudesta. Tällä tavalla toteutettu pituuslimitetty rakenne voidaan mitoittaa jatkuvana. [1.] Pidennetyt päittäisliimitykset ei tarvitse välttämättä olla molemmin puoleinen, jotta liitos voidaan mitoittaa jatkuvaksi. Kuvasta 18 löytyy kaksi vaihtoehtoa miten pidennetyt päittäisliimitykset voi asentaa tuelle. Toispuoleisessa pidennetyssä päittäisliimityksessä lyhyempi liityspituus "e" on tuen keskeltä mitattuna vähintään 75 mm. Liityksissä enemmän tukea ylittävä levy asennetaan aina alimmaiseksi. [2.]



Kuva 18. Vasemmalla toispuoleinen ja oikealla molemmin puoleinen pidennetty päittäisliimitys. Molemmilla liityksillä on mahdollista saada rakenne toimimaan jatkuvana [2.]

Limitettävät levyt kiinnitetään tukiin samalla tavalla kuin edellisen sivun tukeen kiinnitettävä niveljatkos. Eli levyt kiinnitetään toisiinsa ja tukeen alalappojen tasaiset osat keskeltä lävistävällä kiinnikkeellä. Jos pidennetty päittäisliimitys halutaan jäykäksi eli mitoittaa jatkuvaksi, on levyt kiinnitettävä myös uumien yläosista toisiinsa. Tämä uumien kiinnitys tapahtuu samalla tavalla kuin Gerber-jatkoksessa eli kuvan 17 mukaisesti. Uumaan tulevien kiinnikkeiden määrä on aina tapauskohtaisesti tarkistettava. Yleisesti uumaan kiinnikkeitä tulee 2-4 kpl. Uumaan tulevien kiinnikkeiden määrän maksimina pidetään 4 kpl/poimu. Kaikkien ruuvien sijoituksissa on käytettävä normin mukaisia reuna- ja keskiöetäisyyksiä. [1.]

2.4.6 Kiinnikkeet

Kiinnikkeinä voivat toimia poraruuvit, kierteittävät ruuvit, ammuttavat naulat tai betonikiinnikkeet. Kiinnikkeillä on oltava jokin varmennettu tuotehyväksyntä. Kiinniketyypin valintaan vaikuttaa tuleeko kiinnike tukeen vai kiinnitetäänkö sillä poimulevyjä yhteen, sekä tuleeko kiinnike vesikattoon vai eristettyyn kattorakenteeseen. Vesikatto asettaa kiinnikkeille erilaiset tiiviysvaatimukset, kuin eristetty kattorakenne. Jos kiinnike tulee tukeen, vaikuttaa myös tuen materiaali kiinniketyypin valintaan. Materiaaleja ovat teräs, puu ja betoni. Tuen materiaali vaikuttaa myös kiinnikkeen vaadittuun pitoisuuteen, johon vaikuttaa myös yhteen kiinnitettävien komponenttien yhteispaksuus. Kiinnikkeen paksuuteen ja vaadittuun kiinnitystiheyteen vaikuttavat kuormitukset ja leikkeiden lukumäärät. Lisäksi kiinnikkeiden materiaali on valittava täyttämään rakennuskohteen ilmastorasitusluokan vaatimukset. [7.]

Kantavat poimulevyt voidaan kiinnittää teräkseen kierteittäville ruuveilla, poraruuveilla tai ammuttavilla nauloilla. Kierteittävä ruuvi vaatii ruuvin karaa n. 0,5 mm pienemmän asennusreiän, jonka ruuvi asentaessa kierteittää. Kierteittävien ruuvien ulkohalkaisijat ovat yleensä 4,8-6,3 mm. Kiinnitysalustan minimivahvuus riippuu kiinnitettävän levyn tai levyjen yhteispaksuudesta. [7.]

Itseporautuvat ruuvit ovat hieman kierteittäviä ruuveja kalliimpia. Poraruuvit ovat kuitenkin helpompia ja nopeampia asentaa. Esireiän poraaminen, reiän kierteitys ja tukeva kiinnitys saadaan suoritettua yhdellä työvaiheella. Levyn, tai levyjen ja kiinnitysalustan maksimi yhteispaksuus on 12 mm. [7.]

Ammuttavan naulan asentaminen on poraruuvin tapaan helppo asentaa. Naulan käyttö asettaa rakenteelle seuraavat vaatimukset. Kiinnitettävän poimulevyn maksimi paksuus on 1,5 mm. Jos levyjä on useampia, maksimissaan 4 kappaletta, saa levyjen maksimi yhteispaksuus olla 4 mm. Lisäksi levyn veto- ja puristuslujuuden ominaisarvo voi olla enintään 4 mm. Kiinnitysalustalta vaaditaan vähintään 6 mm:n vahvuutta. Käytettävän naulan halkaisijan koko on yleensä 4,5 mm. [7.]

Poimulevyn voi halutessaan asentaa suoraan betoniin, mutta tätä suositellaan välttämään. Suoraan betonille asennettaessa on poimulevyn ja betonin välissä käytettävä 5 mm:n nauhatiivistettä tai vastaavaa. Kiinnikkeenä voidaan käyttää esimerkiksi spike-metalliankkuria. Metalliankkuri vaatii kiinnitettävään levyyn, tai levyihin ja betoniin reikien porauksen johon ankkuri lyödään. Betoniin suoraan kiinnitystä suositeltavampaa olisi, että betoniin asennettaisiin valun yhteydessä teräksinen tai puinen kiinnitysalusta, johon poimulevyt asennetaan. Kiinnitysalustoja suunnitellessa tulee huomioida voimien siirto poimulevyiltä kiinnitysalustan kautta betoniin. [7.]

Poimulevyjen kiinnitys puuhun tapahtuu ruuveilla. Yleensä poimulevyjen puuhun kiinnitykseen käytettyjen ruuvien halkaisija on ollut 6,5 mm. Ruuvien pituuteen on otettava huomioon puun vaatima ruuvin tunkeutumapituus. Tunkeutumapituus on vähintään 30 mm [6.] ja tämä on tarkistettava aina tapauskohtaisesti. [7.]

	TYYPPI	KOKO	KÄYTTÖALUE	KÄYTTÖALUE	KÄYTTÖKOHDE
			(minimi)	(maksimi)	
	Fm 4,8x20 (220048L)	4,8x20	2x0,4	2x1,0	Eristetty katto
	Zebra Pias (021455)	5,5x19	2x1,1	2x1,5	Eristetty katto
	TYYPPI	KOKO	KÄYTTÖALUE	KÄYTTÖALUE	KÄYTTÖKOHDE
			(minimi)	(maksimi)	
	Fm 4,8x20 (320048L)	4,8x20	2x0,4	2x1,0	Vesikatto
	PIASTA A2 4,8x20	4,8x20	2x0,4	2x1,0	Vesikatto
	Zebra Pias (321455)	5,5x19	2x1,1	2x1,5	Vesikatto
PIASTA 7550 A2 RST	5,5x25	2x0,75	2x2,0	Vesikatto	

^{*)} C3 ilmastorasitusluokkaan ilman maalausta

Kuva 19. Poimulevyn sivuttaislimitykseen ja jatkokseen soveltuvat ruuvit. [6.]

Kiinnikkeiden valintaan löytyy apua valmistajien tarjoamista kantavien poimulevyjen asennusohjeista. Eri valmistajien asennusohjeista löytyy yllä olevan kuvan tapaisesti eri kiinnikkeet eri käyttötarkoituksiin taulukoituina. Yllä oleva kuva on Weckman Steel Oy:n asennusohjeesta. Kuvan taulukossa kyseinen valmistaja esittelee omien poimulevyjen sivuttaislimitykseen tai päittäisjatkokseen soveltuvat ruuvityypit. Esimerkiksi Ruukki suosittelee poimulevyilleen eri ruuveja. Taulukosta oikealta "käyttökohde"-sarakeesta huomataan taulukon ylemmän kuvan esittävän eristetyn katon ruuvia ja alemman kuvan vesikatton ruuvia. Ruuvien kuvia vertaamalla huomataan oleellinen ero. Vesikatolle tarkoitetuissa ruuveissa on yleensä taulukon alemman kuvan mukaisesti EPDM-kumitiivisteellä varustettu aluslevy. [7.]

2.5 Yhteenvetona poimulevyjen hyvät ja huonot puolet

Hyviä puolia poimulevyillä on valtavasti. Poimulevyjen parhaimpiin puoliin kuuluu korkea kuormituskapasiteetti ja kestävyys suhteutettuna painoon. Rakenneosa, joka kantaa paljon, mutta kuormittaa muuta rakennetta mahdollisimman vähän omalla painollaan on rakenneosa, jollaista rakenteita optimoidessa etsitään. Keveys on yleisestikin terästuotteiden kannalta merkittävä tekijä, koska terästuotteiden hinta perustuu pitkälti käytetyn teräksen painoon. Lisäksi kevyen materiaalin kuljetus säästää kustannuksia. Kevyttä materiaalia on työmaalla mukavampi käsitellä asennusvaiheessa, jota huomioiden poimulevyille on suunniteltu yksinkertaisia kiinnitysmenetelmiä, joita on helppo toteuttaa työmaaolosuhteissa. [1.]

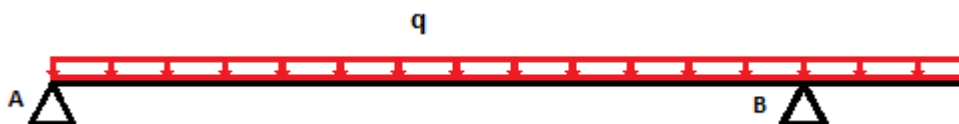
Poimulevyillä on hyvä pintojen viimeistely, sekä hyvä korroosiokestävyys sinkin ja pintoitteiden ansiosta. [1.] Kattava värivalikoima ja eri profiilien runsaus antaa poimulevyille mahdollisuuden toimia valmiina pintana sekä rakennuksen sisä-, että ulkopuolellakin. [3.] Lisäksi sopivilla poimulevy ja lämmöneriste valinnoilla voidaan saavuttaa myös tehokas ääni- ja lämmöneristys. [1.]

Kaikki tuotteen ominaisuudet osatessa hyödyntää, on mahdollista saavuttaa suuria kustannussäästöjä. Poimulevyä käyttäessä kylmänä kattorakenteena, on mahdollista saada valmiit sisä- ja ulkopinnat, kantava rakenne pitkälle jänneväliille, rakenteen jäykistys ja vesikate tällä yhdellä rakenneosalla. [1.]

Poimulevyn huonoihin puoliin kuuluu palotilanteen käyttäytyminen. Todella ohuen teräsrakenteen hyvien puolien kääntöpuolelta löytyy nopeasta lämpenemisestä johtuva heikko palonkestävyys. Tästä päästäänkin opinnäytetyöni pääasiaan, poimulevyjen palomitoitukseen, jota avaan seuraavassa luvussa.

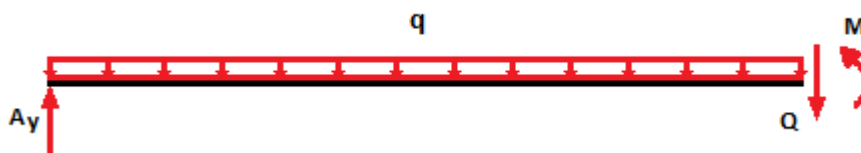
3 Köysikäyräkäyttäytyminen

Jotta ymmärretään poimulevyjen käyttäytymistä palotilanteessa köysirakenteena, täytyy tarkastella miten normaalilämpötilan vapaakappalekuvio eroaa palotilanteen vapaakappalekuvioista ja mitä palotilanteessa tapahtuu. Alla olevassa kuvassa on rakennemalli moniaukkoisesta rakenteesta. Kuvaan ei olla turhaan esitetty rakennetta koko leveydeltään, vaan siitä on katkaistu tarkastelua varten tarvittavan leveä pätkä.



Kuva 20. Rakennemalli moniaukkoisesta rakenteesta

Rakennemallissa tukina voivat toimia palkit tai orret. Tuet ylittävä poimulevy alkaa vasemmalta tuelta ja jatkuu jatkuvana rakenteena oikealla olevan tuen yli. Seuraavissa kahdessa jälkimmäisessä kuvassa 21 ja kuvassa 22 esitetään kaksi tukien kohdalta katkaistua vapaakappalekuvioita. Vapaakappalekuvioita ovat kyseisestä rakennemallista kahdessa eri tilanteessa. Vapaakappalekuvioissa tarkastellaan mitä voimia poimulevyssä tukien kohdalla esiintyy. Rakenteeseen kohdistuva tasainen kuormitus q voi olla esimerkiksi poimulevyn omapaino ja lumikuorma varmuuskertoiminen.



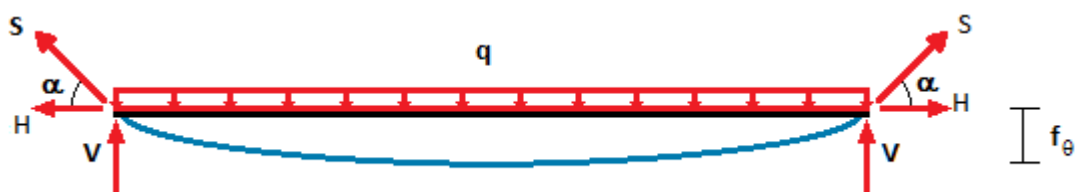
Kuva 21. Normaalilämpötilan mukainen vapaakappalekuvio kuvan 20 rakenteesta.

Yllä oleva vapaakappalekuvio on normaalilämpötilan mukainen. Vasemmalla tuella esiintyy pystysuuntaisesta kuormituksesta q syntyvä tukireaktio A_y . Oikeanpuoleisella tuella on esitetty poimulevyn sisäiset voimat, leikkausvoima Q ja momentti M . Rakenteeseen ei synny vaakasuuntaisia voimia, joten rakenteessa ei ole vaakasuuntaista tukireaktiota, eikä sisäistä normaalivoimaa N .

Palotilanteessa ohut poimulevyrakenne lämpenee nopeasti. Palon alussa tukiin kiinnitettyyn poimulevyyn syntyy lämpölaajenemisen johdosta puristusta eli vaakasuuntaista

normaalivoimaa N . Tarpeeksi lämmentyään poimulevy notkistuu, menettää kantokykynsä, alkaa roikkumaan tukiansa välissä ja toimimaan köyden tavoin. [8.]

Alla oleva vapaakappalekuvio on palotilanteen mukainen. Kuvassa sininen kaari kuvastaa roikkuvaa poimulevyä. Taipuisa poimulevy ei enää pysty siirtämään pystysuuntaista kuormitusta q pelkästään pystykuormana tuille. Tämä johtuu siitä, ettei taipuisalla materiaalilla voi olla leikkausvoimaa Q tai momenttia M . Taipuisalla materiaalilla, kuten köydellä tai tässä tilanteessa poimulevyllä voi olla vain pituussuuntaista eli aksiaalista voimaa. Köydellä ei voi työntää, joten myöskään köysirakenteeseen verrattava poimulevy ei kykene vastaanottamaan muuta kuin normaalivoiman N vetona. Alussa puristuksena esiintynyt normaalivoima onkin muuttunut poimulevyn roikkumaan päätyessä vedoksi. Veto tietenkin aiheuttaa rakenteeseen lisää venymää, joten poimulevy roikkuu entistä enemmän tukiansa välissä. [8.]



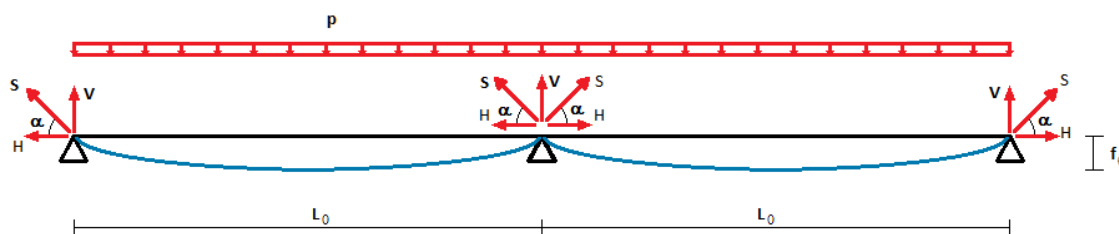
Kuva 22. Palotilanteen vapaakappalekuvio kuvan 20 rakenteesta.

Köydessä esiintyvää normaalivoimaa ja samalla köyden ainutta voimaa kutsutaan köysivoimaksi. Kuvassa tämä köysivoima on merkitty kirjaimella S . Köysivoima on saman suuruinen kaikkialla köydessä. [9.] Koska kuvassa roikkuvaa poimulevyä esittää sininen kaari, on myös poimulevyssä esiintyvä köysivoima tämän sinisen kaarensuuntainen. Poimulevyn palotilanteen myötölujuuden on valitulla tarkasteluhetkellä oltava suurempi kuin köysivoima S . Muutoin poimulevy ei enää roiku tukiansa välissä valitulla tarkasteluhetkellä, vaan se on katkennut. Tähän tarkasteluun tarvitaan poimulevyn leikkauspinta-ala, joka saadaan poimulevyn painosta. Poimulevyn paino annettiin poimulevyjen ominaisuuksia esittelevässä sivun 8 kuvassa 6. Lisäksi tukien välissä olevat poimulevyjen pituussuuntaisten liitosten kiinnikkeet on mitoitettava tälle voimalle S . [8.]

Kaaren syvyys f_0 ilmoittaa kuinka paljon poimulevy roikkuu tukiansa välissä. Roikkumisen syvyys vaikuttaa siihen missä kulmassa köysivoima S kuormittaa tukea. Tuella köysivoima jaetaan mitoitusta varten pystykomponenttiin V ja vaakakomponenttiin H .

Palotilanteessa ei synny lisää pystykuormaa, joten normaalilämpötilan mitoittama tukireaktio on riittävä vastaanottamaan komponentin V . Sen sijaan normaalilämpötilan mitoitus ei ota huomioon ollenkaan vaakakuormaa. Palomitoituksessa huomioidaan tämä. Poimulevyjen kiinnitykset tukiin tulee mitoittaa kestämään tuella esiintyvä vaakakuorma H . [8.]

Tukien voimia katsellessa voi tehdä tärkeän havainnon. Vaikka rakennemalli alkaa oikealta tuelta ja jatkuu vasemman tuen yli, ovat palotilanteen vapaakappalekuvion molempien tukien kuormitukset identtiset. Ei ole merkitystä onko rakennemalli yksi vai moniaukkoinen rakenne. Tasaisen kuormituksen omaava palotilanteen vapaakappalekuviokuva näyttää kuvan mukaiselta. Yhden aukon tarkastelu on riittävä köysivoiman mitoittamista varten. Myöskään liitoksien tyypeistä ei ole kuviota hahmottaessa merkitystä. Tämä voidaan myös todeta alla olevasta kuvasta 23.



Kuva 23. Palotilanteen vapaakappalekuviokuva kuvan 20 rakenteesta.

Kuvassa on tilanne, jossa kahden vierekkäisen aukon poimulevyt ovat alkaneet toimimaan köysirakenteen tavoin. Vasemmanpuoleinen sininen kaari vetää tukea alas vasemmalle ja oikeanpuoleinen sininen kaari vetää tukea alas oikealle. Keskimmäiselle tuelle on merkitty vasemman-, sekä oikean puolen köysivoimat ja niiden komponentit. Vasemman aukon köysivoiman vaakakomponentti H osoittaa oikealle ja oikeanpuoleisen aukon köysivoiman vaakakomponentti H osoittaa vasemmalle. Molemmat vaakakomponentit ovat merkintänsä mukaisesti samansuuruiset ja vastakkaisuuntaiset. Vaakakomponentit kumoavat toisensa ja tuki kantaa pystykomponentin. Tuki on tasapainossa.

Tuki on tasapainossa siinäkin tilanteessa, jos esimerkiksi vain vasemmanpuoleinen aukko toimisi köysirakenteena ja oikeanpuoleinen aukko olisi vielä täysin normaalilämpötilan mukainen. Jos kaikki jännevälit ja tukien liitokset on mitoitettu normaalilämpötilan

mitoituksen lisäksi vastaanottamaan palotilanteen kuormat, kykenevät ne vastaanottamaan ne normaalilämpötilassakin.

Poimulevyt kykenevät toimimaan köysirakenteena vielä siinäkin tilanteessa missä tuki menettää kantavuutensa. TRY:n Teräsnormikortin liitteessä B tarkastellaan teräsrakenteisen hallirakennuksen yläpohjassa olevien muotolevyrakenteiden toimintaa erilaisissa palotapauksissa. Tarkasteluita varten mallinnettiin teräsrakenteinen tuotantohallirakennus. Poimulevyt simuloitiin ohuilla kevytorsilla. Orret kiinnitettiin palosuojaamattomiin teräsristikoihin. Kokeissa tulipalo sytytettiin rakennuksen keskimmäisen ristikon alta. Tuloksissa käytiin läpi orsien jännitysten kehitystä. Tuloksissa tehtiin tärkeä havainto. Ristikon täsmälleen vastakkaisilla puolilla sijaitseviin orsiin kehittyi täysin identtiset kuormitukset. Aluksi puristusta lämpölaajenemisesta ja lopuksi vetoa köysirakenteeksi päädyttyä. Ristikon menetettyä kantavuutensa hallirakennuksessa ei esiintynyt merkkejä jatkuvan sortuman vaarasta. Vierekkäiset ristikot kannattelivat kantavuutensa menettänyttä ristikkoa orsien välityksellä. Tuloksissa todella todettiin sisäisten voimien uudelleen jakaantuminen. [8.]

Palotilanteessa köysikäyräkäyttäytyminen on todella isossa roolissa. Tasapainoisesti toimivan köysikäyrä rakennelman poimulevyjä ei tarvitse turhaan palosuojata (mahdollisia liitoksia lukuun ottamatta), eikä tukien palotilanteen stabiiliuden takaamiseksi tarvitse lisätä erillisiä nurjahdustukia. On tärkeätä mahdollistaa muotolevyjen toimiminen köyden lailla oikeanlaisella palomitoituksella. Jos poimulevy katkeaa liiallisesta vedosta tai va-lahtaa tuelta riittämättömän kiinnityksen takia, eivät poimulevyt enää kykene jakamaan ketjureaktion omaisesti kuormituksiaan. Tällaisessa tilanteessa tuet menettävät tasapainon ja jatkuva sortuma on mahdollinen. [8.]

4 Mitoituksen suorittaminen

Palomitoituksen tarkoituksena on:

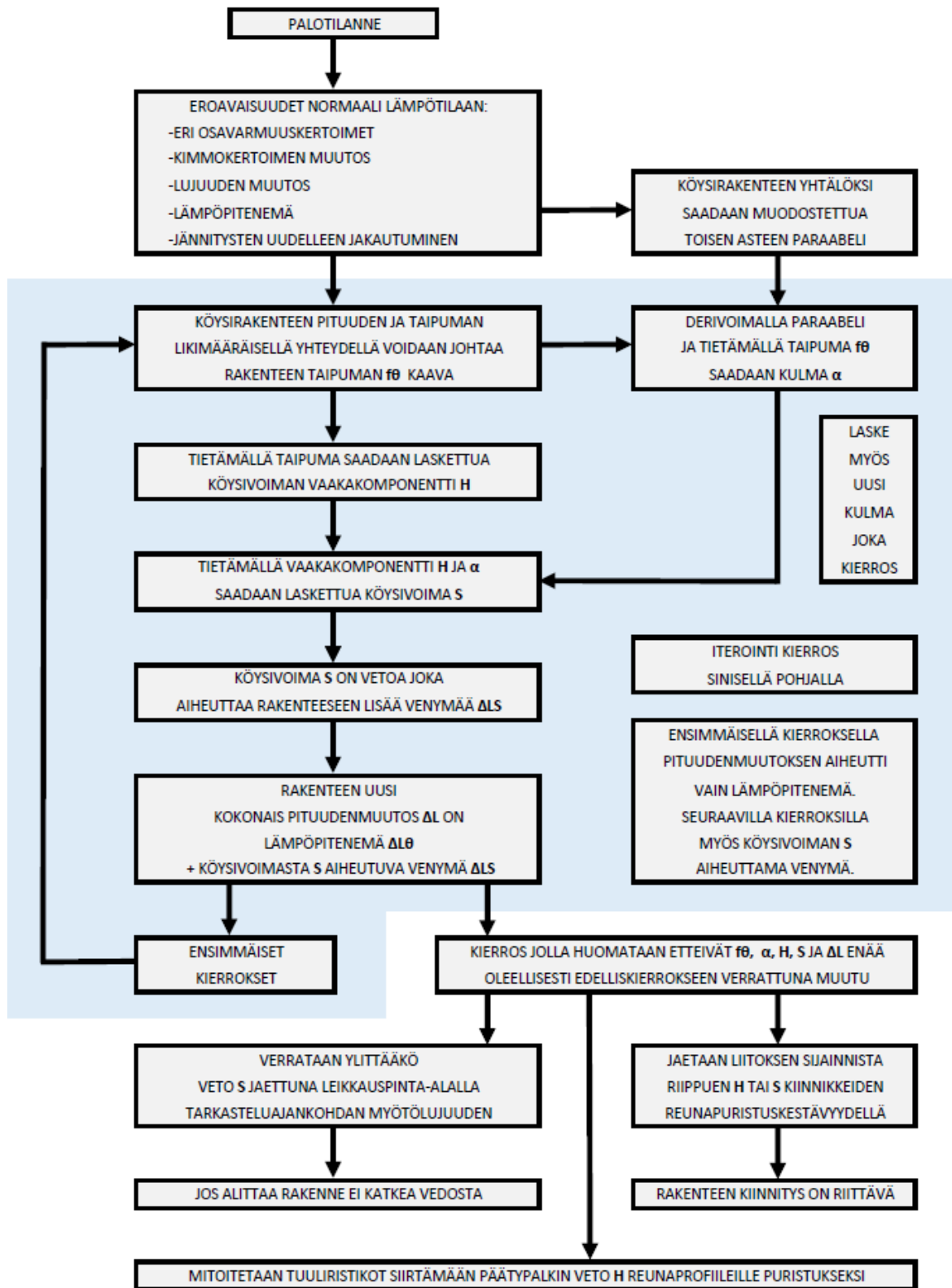
- Tarkistaa, kestävätkö poimulevyt köysivoiman vedon S.
- Mitoittaa kentällä sijaitsevien liitoksien kiinnikkeiden minimi määrät köysivoimalle S.
- Mitoittaa tuelle tulevien poimulevyjen kiinnikkeiden minimi määrät köysivoiman vaakakomponentille H.

Köysivoiman S saadaan selville, kun tiedetään vaakavoiman H, sekä köysivoiman S ja vaakakomponentin H välisen tuella sijaitseva kulma α . Kulma α saadaan selville derivoimalla köysikäyrää kuvaavan paraabelin yhtälö. [8.]

Vaakakomponenttia H varten tulee tietää rakenteen taipuma. Rakenteen taipuman kaava varten tulee tietää rakenteen pituudenmuutos. Rakenteen pituudenmuutokseen vaikuttavat tulipalon lämpötilojen noususta aiheutuva lämpöpitenemä ja köysivoiman S vedosta syntyvä venymä. Eli vaakavoimaa H laskiessa tulee jo tietää vaakavoima H, jotta voidaan laskea köysivoima S ja huomioida köysivoiman S aiheuttaman pituudenmuutoksen vaikutus rakenteen taipumaan, joka vaikuttaa vaakavoiman H suuruuteen. Tämä mutkikkaan kuuloinen laskelma saadaan suoritettua iteroimalla. Seuraavan sivun kuvassa 24 tiivistetään koko palomitoitus, nähdään laskujärjestys ja miten edellä mainittu iterointi saadaan tehtyä. [8.]

Iteroidessa puhutaan laskukierroksista. Tässä tilanteessa kierros alkaa köysirakenteen taipuman laskemisella. Ensimmäisellä laskukerralla kaavan pituudenmuutos sisältää vain lämpöpitenemisestä johtuvan pituudenmuutoksen. Kierros päättyy uuden pituuden muutoksen selviämiseen, johon on huomioitu lämpöpitenemisen lisäksi myös köysivoimasta S aiheutuva venymä. Uusi pituudenmuutos tulee sijoittaa takaisin taipuman kaavaan. Uusi laskukierros voi alkaa. Sinisellä pohjalla sijaitsevien laatikkojen sisällöt tulee laskea joka iterointikierros uudestaan ja aina samassa järjestyksessä. [8.]

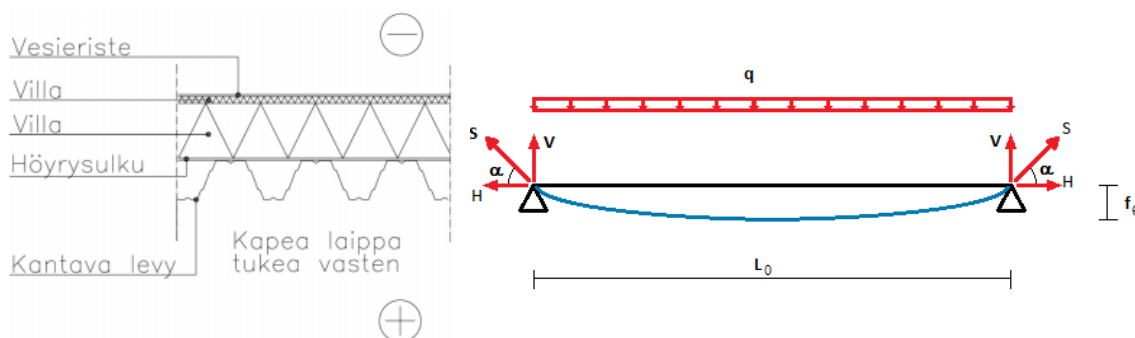
Jokaisen kierroksen lopussa tulee verrata tuloksia edellisen kierroksen tuloksiin. Tulosten kierrättäminen voidaan lopettaa siinä vaiheessa, kun huomataan, etteivät tulokset enää oleellisesti eroa edellisen kierroksen tuloksista. Siinä vaiheessa on tavoitettu tuloksille haluttu tarkkuus ja voidaan mennä laskelmissa eteenpäin. [8.]



Kuva 24. Laskuprosessi

Tarkemmin iterointi, sekä iteroinnin ennen ja jälkeen tulevat laskelmat esitellään seuraavissa luvuissa. Luvuissa esitetään mistä tarvittavat kaavat tulevat tai mistä

Eurokoodeista kuvakaappauksiin valitut kohdat löytyvät. Lukujen laskujärjestys seuraa edellissivun laskuprosessia, joten kuva voi auttaa hahmottamaan missä vaiheessa laskemisessa edetään. Luvuissa tehdään myös esimerkkilaskelmia. Käytetty esimerkkirakenne ja tarpeellinen rakennemalli löytyy alla olevasta kuvasta.



Kuva 25. Esimerkkilaskelmissa käytetty lämmin kattorakenne. [7.]

Esimerkkirakenteen tiedot:

- Rakenteen jänneväli L_0 on 5000 mm.
- Kuormitus q on rakenteen paino + lumikuorma
- Käytettävä poimulevy on 0,9 mm paksu T130M-75L-930.
- Poimulevyn päälle tulevan rakenteen, (eristeet jne.) painot yht. 60 kg/m^2
- Lumikuorma 2 kN/m^2
- Palotilanteen tarkasteluhetki on 15 minuuttia.
- Tarkastelukaistaleen leveys 1 m.

Yllä olevat tiedot riittävät jo rakenteen mitoittamiseen. Heti alkuun joudutaan jo kuitenkin etsimään lisää tietoa poimulevyn ominaisuuksista, joten poimitaan ne tähän. Tietämällä käytettävä poimulevy etsitään valmistajan internettisivulta kyseisen poimulevyn materiaalisite. Tarvittava esitteestä löytyvä taulukko on sivun 8 kuvassa 6. Kyseisestä kuvasta löydetään seuraavat mitoituksen kannalta tarvittavat tiedot.

- Poimulevyn teräslaatu on poimulevyissä yleisimmin käytetty teräslaatu S350.
- Poimulevyn paino on $11,40 \text{ kg/m}^2$.

Tietämällä teräslaatu löydetään sivun 4 taulukosta 1 normin SFS-EN 10147 mukaisen teräslaadun S350GD+Z seuraavat tiedot: [1.]

- Myötölujuus on 350 N / mm².
- Murtolujuus 420 N / mm².
- Kimmokerroin 210000 N / mm².

Näillä lähtötiedoilla voidaan aloittaa laskelmat.

5 Palonmitoituksen eroavaisuudet normaalilämpötilan mitoitukseen

5.1 Mitoituskuormayhdistelyt onnettomuusmitoitustilanteessa

Lasketaan ensin rakenteen omapaino q_{oma} ja muutetaan se Newtonieiksi. Huomioidaan laskiessa annettu tarkastelukaistaleen leveys 1 m, joka tarkoittaa, että laskelmat halutaan normaalilämpötilan yksikön N/m sijaan palotilanteessa N/m²:

$$G_{oma} = Poimulevy + Muu rakenne = 11,40 \frac{Kg}{m^2} + 60 \frac{Kg}{m^2} \quad (1)$$

$$G_{oma} = 71,40 \frac{Kg}{m^2} * 9,81 \frac{m}{s^2} = 700,434 \frac{N}{m^2} \quad (2)$$

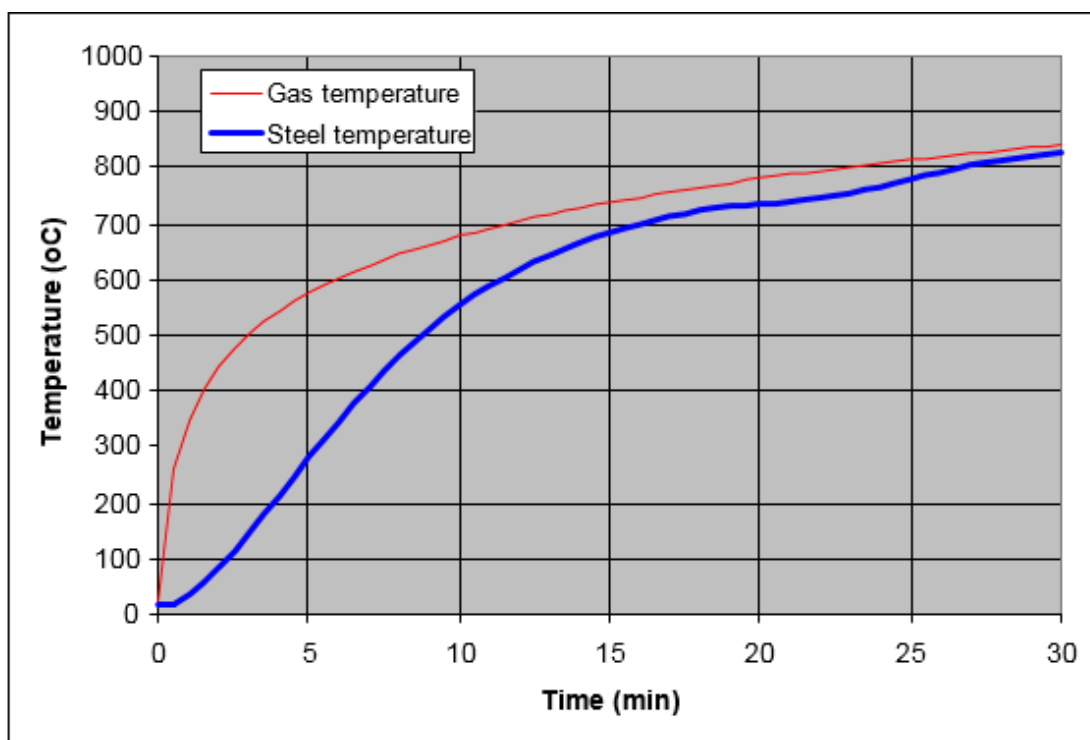
Kuormitus q saadaan laskemalla omapaino ja lumikuorma yhteen palotilanteen yhdistelykertoimia käyttäen. Yhdistelykertoimet ja ohjeistukset löytyvät Suomen rakentamismääräyskokoelman kantavien rakenteiden suunnitteluperusteista. Tulipalo, eli onnettomuus tilanteessa rakenteen ja lumikuorman kertoimet ovat normaalilämpötilan mitoitusta pienemmät. Vaikka voisi olettaa, ettei tulipalossa ole lunta, lasketaan ohjeistusten mukaisesti rakenteen kuormitukseen lumikuorma pienennyskertoimellaan. Mitoituksessa voidaan olettaa vielä 15 minuutin tarkasteluhetkellä eristeiden estäneen koko lumikuormaa sulamasta. Ainakin laskelmat ovat varmalla puolella. [10.]

$$q = G_{oma} * 1,0 + q_{Lumi} * 0,4 = 700,434 \frac{N}{m^2} * 1,0 + 2000 \frac{N}{m^2} * 0,4 \quad (3)$$

$$q = 1500,434 \frac{N}{m^2} \approx 1,501 * 10^{-3} \frac{N}{mm^2} \quad (4)$$

5.2 Teräksen mekaaniset ominaisuudet

Palomitoitus perustuu rakenteen tarkasteluun valittuna ajankohtana palon alkamisen jälkeen. Tarkasteluissa on tarkoitus käyttää palotilanteen kuormituksia ja valitulla hetkellä vallitsevia rakenteen ominaisuuksia. Ne rakenteen ominaisuudet, joita tarvitaan köysi-voimien laskemiseen ja joihin rakenteen lämpötilan kohoaminen vaikuttaa, on muunnettava vastaamaan tarkasteluhetken lämpötilaa. Näitä ominaisuuksia ovat myötöraja, kimmo kerroin ja rakenteen piteuden muutos. Edellä olevat ominaisuudet annetaan aina lähikohtaisesti normaalilämpötilan mukaan. Normaalilämpötilaksi on määritetty 20°C. [8.]



Kuva 26. Ohuen teräsrakenteen ja kaasun lämmönkehityksen vertaaminen [8.]

TRY Teräsnormikortin liitteessä B on vertailtu ohuiden teräsrakenteiden ja kaasun lämmönkehitystä standardipalossa. Aluksi kaasu lämpenee nopeammin. Muutaman minuutin kohdalla teräsrakenteen alettua lämpenemään lämpötilat kohoavat lähes samaan tahtiin. Tämän perusteella ohuiden teräsrakenteiden mitoitusta voidaan yksinkertaistaa. Käytetään teräsrakenteen palotilanteiden lämpötiloina kaasun lämpötilaa. Kaasun lämpötila on korkeampi kuin teräksen, joten tulokset tulevat olemaan varmemmalla puolella. [8.]

Eurooppalaisesta standardista EN 13501-2 löytyy standardi palokäyrän laskukaava:

$$T = 345 \log_{10}(8t + 1) + 20 \quad (5)$$

Kaavassa T kertoo lämpötilan Celsius-asteissa ja t on tarkasteluajankohta minuuteissa. Kaavoissa, joita varten lämpötila tarvitaan, T on esitetty symbolilla θ_a . Käytetään jatkossa T:n tilalla edellä mainittua merkintää. Kaavaan syöttämällä halutun tarkasteluajankohdan saadaan selville teräksen lämpötilan kyseisellä hetkellä. Kokeillaan paljonko kaasun, eli tässä tapauksessa poimulevyn lämpötila on 15 minuutin kohdalla. Tulosta voidaan verrata kuvan 26 käyrään.

$$T = \theta_a = 345 \log_{10}(8 * 15 + 1) + 20 \quad (6)$$

$$\theta_a = 738,56^\circ\text{C} \quad (7)$$

Eli 15 minuutin kohdalla palon alkamisen jälkeen kaasun/poimulevyn lämpötila on $738,56^\circ\text{C}$.

[11.]

Teräksen pituuden muutoksen laskeminen on esitetty SFS-EN 1993-1-2 Eurokoodi 3:sen osassa 1-2: rakenteiden palomitoituksessa seuraavasti:

— kun $20\text{ °C} \leq \theta_a < 750\text{ °C}$:

$$\Delta l/l = 1,2 \times 10^{-5} \theta_a + 0,4 \times 10^{-8} \theta_a^2 - 2,416 \times 10^{-4}$$

— kun $750\text{ °C} \leq \theta_a \leq 860\text{ °C}$:

$$\Delta l/l = 1,1 \times 10^{-2}$$

— kun $860\text{ °C} < \theta_a \leq 1200\text{ °C}$:

$$\Delta l/l = 2 \times 10^{-5} \theta_a - 6,2 \times 10^{-3}$$

Kuva 27. Teräksen pituudenmuutoksen laskeminen [20.]

Kaavoissa θ_a on teräksen lämpötila tarkasteluhetkellä. Kyseinen lämpötila laskettiin edellisessä kohdassa. Kaavoissa l on rakenteen tarkasteltava pituus, joka on rakenteen jänneväli normaalilämpötilassa 20 °C ja Δl on lämpötilan aiheuttama pituuden muutos.

Käytettävä kaava tulee valita teräksen palotilanteen lämpötilan mukaan. Edellisessä kohdassa 15 minuutin lämpötilan $738,56\text{ °C}$ tapauksessa käytettäisiin ylintä kaavaa. Haluttu tieto on pituudenmuutos, joten kaava halutaan saattaa seuraavaan muotoon:

$$\Delta l = (1,2 \times 10^{-5} * \theta_a + 0,4 \times 10^{-8} * \theta_a^2 - 2,416 \times 10^{-4}) * l \quad (8)$$

Kaavaan tulee sijoittaa lämpötila ja rakenteen jänneväli. Koitetaan kaavan toimivuutta 15 minuutin lämpötilalla ja 5000 mm leveällä jännevälillä.

$$\Delta l = (1,2 \times 10^{-5} * 738,56 + 0,4 \times 10^{-8} * 738,56^2 - 2,416 \times 10^{-4}) * 5000\text{ mm} \quad (9)$$

$$\Delta l = 54,02\text{ mm} \quad (10)$$

15 minuuttia tulipalossa olleiden poimulevyjen pituus on kasvanut noin 54 mm .

[20.]

Teräksen kimmokertoimen muuntaminen on esitetty SFS-EN 1993-1-2 Eurokoodi 3:sen osassa 1-2: rakenteiden palomitoituksessa seuraavan taulukon avulla:

Taulukko 2. Taulukko palotilanteen kimmokertoimen muuntamista varten. [20.]

Teräksen lämpötila θ_a	Pienennystekijät lämpötilassa θ_a suhteessa 20 °C lämpötilaa vastaaviin arvoihin f_y tai E_a		
	Tehollisen myötörajan pienennystekijä (suhteessa arvoon f_y) $k_{y,\theta} = f_{y,\theta} / f_y$	Suhteellisuusrajan pienennystekijä (suhteessa arvoon f_y) $k_{p,\theta} = f_{p,\theta} / f_y$	Kimmokertoimen pienennystekijä (suhteessa arvoon E_a) $k_{E,\theta} = E_{a,\theta} / E_a$
20 °C	1,000	1,000	1,000
100 °C	1,000	1,000	1,000
200 °C	1,000	0,807	0,900
300 °C	1,000	0,613	0,800
400 °C	1,000	0,420	0,700
500 °C	0,780	0,360	0,600
600 °C	0,470	0,180	0,310
700 °C	0,230	0,075	0,130
800 °C	0,110	0,050	0,090
900 °C	0,060	0,0375	0,0675
1000 °C	0,040	0,0250	0,0450
1100 °C	0,020	0,0125	0,0225
1200 °C	0,000	0,0000	0,0000

HUOM. Väliarvot lämpötilan suhteen saadaan lineaarista interpolointia käyttäen.

Teräksen palotilanteen kimmokertoimen pienennystekijä eli kerroin $k_{E,\theta}$ löytyy oikeasta sarakkeesta. Teräksen palotilanteen lämpötilat löytyvät vasemmasta sarakkeesta. Jos lämpötila ei sattumalta ole tasaluku kuten 700°C, on kertoimen väliarvo hankittava lineaarista interpolointia käyttäen.

Käyttämällä esimerkkinä edellisten kohtien 15 minuutin lämpötilaa 738,56°C poimitaan taulukosta 700°C:n kohdalta 0,130 ja 800°C:n kohdalta 0,09. Näillä luvuilla päädytään seuraavaan interpolointiin:

$$k_{E,\theta} = 0,13 - (0,13 - 0,09) * \frac{738,56 - 700}{800 - 700} = 0,114576 \quad (11)$$

Kimmokertoimen pienennyskerroin on saatu jakamalla palotilanteen kimmokerroin normaalilämpötilan kimmokertoimella. Eli palotilanteen kimmokerroin saadaan kertomalla teräksen normaalilämpötilan kimmokerroin äsken lasketulla pienennyskerroimella.

$$E_{a,\theta} = k_{E,\theta} * E_a = 0,1145756 * 210000 \frac{N}{mm^2} \quad (12)$$

$$E_{a,\theta} = 24060,87 \frac{N}{mm^2} \quad (13)$$

Teräksen myötölujuuden muuntaminen on esitetty SFS-EN 1993-1-2 Eurokoodi 3:sen osassa 1-2: rakenteiden palomitoituksessa liitteessä E seuraavan taulukon avulla:

Taulukko 3. Taulukko palotilanteen myötölujuuden muuntamista varten. [20.]

Teräksen lämpötila θ_a	Mitoituslujuuden pienennystekijä (suhteessa arvoon f_y) kuumavalssatuille ja hitsatuille poikkileikkausluokan 4 poikkileikkauksille $k_{p0,2,\theta} = f_{p0,2,\theta} / f_y$	Mitoituslujuuden pienennystekijä (suhteessa arvoon f_{yD}) kylmämuovatuille poikkileikkausluokan 4 poikkileikkauksille $k_{p0,2,\theta} = f_{p0,2,\theta} / f_{yD}$
20 °C	1,00	
100 °C	1,00	
200 °C	0,89	
300 °C	0,78	
400 °C	0,65	
500 °C	0,53	
600 °C	0,30	
700 °C	0,13	
800 °C	0,07	
900 °C	0,05	
1000 °C	0,03	
1100 °C	0,02	
1200 °C	0,00	
HUOM. 1 Väliarvot lämpötilan suhteen saadaan lineaarista interpolointia käyttäen.		
HUOM. 2 f_{yD} :n määrittäminen on standardin EN 1993-1-3 mukainen.		

Taulukko on hyvin paljon saman näköinen kuin kimmokertoimen muuntotaulukko. Taulukosta poimitaan samalla tavalla vasemmasta sarakkeesta lämpötilat ja oikealta kertoimet. Taulukon välitulokset tulee iteroida.

Käyttämällä esimerkkinä edellisten kohtien 15 minuutin lämpötilaa 738,56°C poimitaan taulukosta 700°C:n kohdalta 0,13 ja 800°C:n kohdalta 0,07. Näillä luvuilla päädytään seuraavaan interpolointiin:

$$k_{f,\theta} = 0,13 - (0,13 - 0,07) * \frac{738,56 - 700}{800 - 700} = 0,106864 \quad (14)$$

Myötölujuuden pienennyskerroin on saatu jakamalla palotilanteen myötölujuus normaalilämpötilan myötölujuudella. Eli palotilanteen myötölujuus saadaan kertomalla teräksen normaalilämpötilan myötölujuus äsken lasketulla pienennyskerroimella.

$$f_{y,\theta} = k_{f,\theta} * f_y = 0,106864 * 350 \frac{N}{mm^2} \quad (15)$$

$$f_{y,\theta} = 37,40 \frac{N}{mm^2} \quad (16)$$

Teräksen palotilanteen vetomurtolujuuden laskeminen on esitetty SFS-EN 1993-1-2 Eurokoodi 3:sen osan 1-2: rakenteiden palomitoituksen liitteessä A seuraavasti:

— kun $\theta_a < 300$ °C:

$$f_{u,\theta} = 1,25 f_{y,\theta}$$

— kun 300 °C $\leq \theta_a < 400$ °C:

$$f_{u,\theta} = f_{y,\theta} (2 - 0,0025 \theta_a)$$

— kun $\theta_a \geq 400$ °C:

$$f_{u,\theta} = f_{y,\theta}$$

Kuva 28. Teräksen palotilanteen murtolujuuden laskeminen [20.]

Kaavoissa θ_a on rakenteen palotilanteen lämpötila, $f_{u,\theta}$ palotilanteen vetomurtolujuus ja $f_{y,\theta}$ jo aikaisemmassa kohdassa laskettu palotilanteen myötölujuus.

15 minuutin tarkasteluhetken lämpötila ylittää 400°C, joten palotilanteen murtolujuutena käytetään palotilanteen myötölujuutta.

$$f_{y,\theta} = f_{u,\theta} \tag{17}$$

$$f_{u,\theta} = 37,40 \frac{N}{mm^2} \tag{18}$$

[20.]

5.3 Paloluokat

Ympäristöministeriön asetuksessa kerrotaan rakennusten paloturvallisuudesta. Asetuksessa määritellään lämmöneristeestä lähtien mikä on mitäkin.

Paloturvallisuudelle asetetut olennaiset tekniset osat täytyvät, jos rakennus suunnitellaan ja rakennetaan noudattaen tässä asetuksessa esitettyjä luokkia ja lukuarvoja. [13.]

Rakennusten paloluokat ovat P0, P1, P2 ja P3. Luokkia P1, P2 ja P3 tulee käyttää, jos rakennus suunnitellaan asetuksen mukaisten luokkien ja lukuarvojen perusteella. Luokkaa P0 tulee käyttää, jos suunnittelu perustuu oletettuun palonkehitykseen. Luokilla on erilaisia koko-, kerroslukumäärä-, käyttötarkoitus- ja henkilömäärärajoituksia. [13.]

Poimulevyjen mitoituksen kannalta asetuksesta löytyy viereisen sivun taulukko, josta löytyvät seuraavat kohdat:

-Yläpohja rakennuksessa, jossa ei ole ullakkoa ja rakenne ei ole kantavan rungon olennainen osa. [13.]

Kyseisellä rivillä annetaan rakenneosalle, joka ei ole kantavan rungon olennainen osa lupa tulla mitoitetuksi vain 15 minuuttia pitkälle palonkestoajalle. Seuraavaksi poimitaan taulukon alta kantavan rungon olennaisen osan määritelmä:

Kantavan rungon tai jäykisteiden olennaisia osia ovat pääkannattajat, runkoa jäykistävät sekundäärikannattajat ja yläpohjan jäykisteet ja muut sellaiset yksittäiset rakenteet, jotka toimivat yläpohjan stabiliteetinsäilyttämiseksi, sekä näiden väliset liitokset. [13.]

Tässä perustelu sille miksi edellisessä kohdassa käytettiin sattumoisin juuri 15 minuutin tarkasteluhetkeä.

Laskuissa standardipaloon perustuvaa mitoitusta käyttäessä on määräyksien mukaan rakennuksen toiminta ilmaistava R-paloluokkien mukaan. Poimulevyjen mitoitus R-15 paloluokan mukaan ei tarkoita sitä, ettei poimulevyjä enää saisi huomioida rakennuksen 15 minuutin jälkeiseen mitoitukseen. Todistetusti poimulevyt toimivat edelleen ”kantavana” rakenteena, vaikka eivät enää omaisi kantokykyä. [8.]

Taulukko 4. Ympäristöministeriön asetuksessa määritellyjä palonkestoluokkia [13.]

Rakennus	Rakennuksen paloluokka ja palokuormaryhmät MJ/m ²			
	P1			P2
	yli 1 200	600–1 200	alle 600	-
L-2-kerroksinen rakennus, yleensä	R 120 (R60 *)	R 90 (R60 *)	R 60	R 30
- hoitolaitokset, majoitustilat	R 120, A2 (R60 *, A2)	R 90, A2 (R60 *, A2)	R 60, A2	R 30
- ylin kellarikerros	R 120, A2 (R90 *, A2)	R 90, A2 (R60 *, A2)	R 60, A2	R 60, A2
- yläpohja rakennuksessa, jossa ei ole ullakkoa ja rakenne on kantavan rungon olennainen osa ¹⁾	R 60	R 60	R 60	R 30
- yksikerroksinen tuotanto- ja varastorakennus	R 60 (R30 *) (R15, A2 *)	R 60 (R30 *) (R15, A2 *)	R 60 (R30 *) (R15, A2 *)	R 30 (R15 *) (R15, A2)
- yläpohja rakennuksessa, jossa ei ole ullakkoa ja rakenne ei ole kantavan rungon olennainen osa ¹⁾	R 15	R 15	R 15	R 15
Yli 2-kerroksinen rakennus, jonka korkeus on enintään 28 m, yleensä	R 180, A2 (R90 *, A2)	R 120, A2 (R60 *, A2)	R 60, A2	R 60 * # ³⁾⁴⁾
- ylin kellarikerros	R 180, A2 (R90 *, A2)	R 120, A2 (R60 *, A2)	R 60, A2	R 60 * A2
- asuinrakennus, asunto, ylin kerros	R 60 +	R 60 +	R 60 +	R 60 * # ³⁾
- asuinrakennus, asunto, kaksi ylintä kerrosta ²⁾	R60 * #	R60 * #	R60 * #	R 60 * # ³⁾
- yli 2-kerroksinen asuinrakennus, jonka korkeus on enintään 14 m ja jonka kerrokset kuuluvat asunnoittain samaan huoneistoon	R 45, A2 (R30, A2 *)	R 45, A2 (R30, A2 *)	R 45, A2 (R30, A2 *)	R 45 # (R30 * #)
Yli 2-kerroksinen rakennus, jonka korkeus on yli 28 m mutta enintään 56 m	R 240, A2 (R180 *, A2)	R 180, A2 (R120 *, A2)	R 120, A2 (R90 *, A2)	ei mahdollinen
Yli 2-kerroksinen rakennus jonka korkeus on yli 56 m	R180 *, A2	R120 *, A2	R 120 *, A2	ei mahdollinen
Ylimmän kellarikerroksen alapuolella sijaitsevat kellarikerrokset	R 240, A2 (R180 *, A2)	R 180, A2 (R120 *, A2)	R 120, A2	R 120, A2 (R90 *, A2)
<p>Parvekkeiden palonkestävyysvaatimus on puolet kerroksen kantavien rakenteiden vaatimuksesta. Kantavien rakenteiden on oltava vähintään D-s2, d2 -luokan tarviketta, ellei taulukossa toisin mainita. Uloskäytävän porrassyöksen ja -tasanteen luokkavaatimus on R 30. Ylimmän kellarikerroksen alapuolella sijaitsevan kellarikerroksen uloskäytävän porrassyöksen ja -tasanteen luokkavaatimus on R 60. Jos kantaville rakenteille on asetettu luokkavaatimus A2-s1, d0, tämä koskee myös porrassyöksiä ja -tasanteita. Yli 2-kerroksisen P1-paloluokan rakennuksen uloskäytävän porrassyökset ja -tasanteet on tehtävä vähintään A2-s1, d0 -luokan tarvikkeista. Ullakon tai ontelon vesikattorakenteille, jotka eivät ole rakennuksen rungon olennaisia kantavia tai palossa runkoa jäykistäviä rakenteita, ei aseteta palonkestävyysvaatimusta.</p> <p>¹⁾ Kantavan rungon tai jäykisteiden olennaisia osia ovat pääkannattajat, runkoa jäykistävät sekundäärikannattajat ja yläpohjan jäykisteet ja muut sellaiset yksittäiset rakenteet, jotka toimivat yläpohjan stabiliteetin säilyttämiseksi, sekä näiden väliset liitokset.</p> <p>²⁾ Kun kolme ylintä kerrosta, lukuun ottamatta uloskäytävää, on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla.</p> <p>³⁾ Huom. 24 § 3 momentissa esitetyt vaatimukset.</p> <p>⁴⁾ Jos käyttötarkoituksen mukainen palokuormaryhmä on 600–1 200 MJ/m², luokkavaatimus on R 90 * # ³⁾</p> <p>* Rakennus on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla. # Lämmöneristeiden ja muiden täytteiden on oltava vähintään A2-s1, d0 -luokkaa. + Lämmöneristeiden ja muiden täytteiden on oltava eristävältä osaltaan vähintään D-s2, d2 -luokkaa. A2 Kantavien rakenteiden on oltava vähintään A2-s1, d0 -luokkaa.</p>				

6 Poimulevyn mitoitus köysivoimalle

6.1 Köysirakenteen taipuma

Köysirakenteen taipuma f_θ saadaan laskettua roikkuvan poimulevyn pituuden laskukavasta. [14.]

$$\Delta L_{koko} = L + \frac{8 \cdot f_\theta^2}{3 \cdot L} \rightarrow f_\theta^2 = \frac{(\Delta L_{koko} - L) \cdot 3 \cdot L}{8} \quad (19)$$

Kaavassa roikkuvan poimulevyn kokonaispituus ΔL_{koko} koostuu jännevälistä L ja pituudenmuutoksesta ΔL . Kaava saadaan johdateltua seuraavaan muotoon:

$$f_\theta^2 = \frac{(L + \Delta L - L) \cdot 3 \cdot L}{8} \rightarrow f_\theta = \sqrt{\frac{\Delta L \cdot 3 \cdot L}{8}} \quad (20)$$

Kaavassa käytetään ensimmäisellä laskukerralla pituudenmuutoksena aikaisemmassa kohdassa laskettua lämpöpiteneää. Seuraavilla kierroksilla pituudenmuutoksen tilalle sijoitetaan edelliseltä kierrokselta laskettu uusi pituudenmuutos, joka sisältää lämpöpiteneän lisäksi myös voiman S aiheuttaman venymän. Kaava säilyy pituudenmuutosta lukuun ottamatta kierroksesta toiseen muuten samana.

Ensimmäisen kierroksen taipumaksi saadaan:

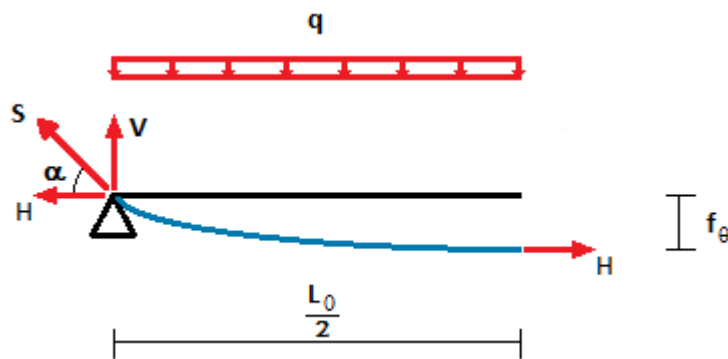
$$f_\theta = \sqrt{\frac{\Delta L \cdot 3 \cdot L}{8}} = \sqrt{\frac{54mm \cdot 3 \cdot 5000mm}{8}} \quad (21)$$

$$f_\theta \approx 318,20mm \quad (22)$$

[14.]

6.2 Köysivoiman vaakakomponentti H

Köysivoima S voidaan jakaa aina pystykomponenttiin V ja vaakakomponenttiin H . Poikkeuksena tilanne, jossa köysivoima S on jossain muussa kulmassa kuin täysin pystysuorassa tai vaakatasossa. Alla olevassa kuvassa sininen kaari kuvastaa roikkuvaa poimulevyä. Köysivoima kulkee poimulevyn eli tämän sinisen kaaren suuntaisesti. Köysivoiman kulma on jyrkimmillään tuella. Kaarta seuraamalla tuelta täsmälleen tukien puoleen väliin, huomataan kaaren olevan siinä täsmälleen vaakatasossa. Tässä pisteessä köysivoimasta ei voi syntyä pystykomponenttia. Tästä syystä jännevälin keskikohdasta katkaistusta kaaresta lähtevä vaakatason suuntainen voima voidaan merkitä vaakakomponentin tunnuksella H .



Kuva 29. Jännevälin keskeltä katkaistu rakenne.

Vaakavoima H saadaan laskettua tuen momenttiehdosta.

$$M_A = 0 \quad (23)$$

$$H * f - q * \frac{L_0}{2} * \frac{L_0}{4} = 0 \quad (24)$$

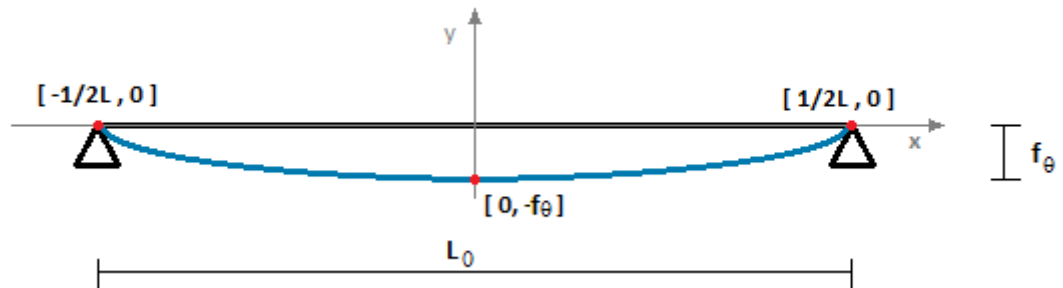
$$H = \frac{q * L_0^2}{8 * f} \quad (25)$$

Kaavassa ei muutu muu kuin edellisestä kohdasta laskettu taipuma. Huomioidaan kaavaan 1m tarkastelukaistale b . Ensimmäisen kierroksen vaakavoimaksi H saadaan:

$$H = \frac{q * b * L_0^2}{8 * f} = \frac{1,501 * 10^{-3} \frac{N}{mm^2} * 1000mm * 5000^2 mm}{8 * 318,20mm} \approx 14741,13 N \quad (26)$$

6.3 Paraabelin yhtälö

Taipuman synnyttämää käyrää voidaan laskentaa yksinkertaistamalla käsitellä paraabelin tavoin ja johtaa sille yhtälö.



Kuva 30. Paraabelin yhtälön muodostaminen

Jos y ja x akselin origo sijoitetaan keskelle jänneväliä, saadaan tukipisteistä kaksi koordinaattia, joissa y:n arvo on nolla. Paraabelin yhtälö saadaan seuraavaan muotoon:

$$y = a * x^2 \quad (27)$$

$$y = a * \left(x - \left(-\frac{1}{2}L\right)\right) * \left(x - \frac{1}{2}L\right) \quad (28)$$

Sijoittamalla kaavaan kaaren alimman pisteen koordinaatit saadaan selvitettyä yhtälön kulmakerroin a.

$$\text{Kun } y = -f_\theta \rightarrow = 0, \quad (29)$$

$$-f_\theta = a * \left(0 - \left(-\frac{1}{2}L\right)\right) * \left(0 - \frac{1}{2}L\right) \quad (30)$$

$$a = \frac{4 * f_\theta}{L^2} \quad (31)$$

Tämä yhdistettynä alkuperäiseen kaavaan saadaan paraabelin yhtälöksi:

$$y = \frac{4 * f_\theta}{L^2} x^2 \quad (32)$$

6.4 Köysivoima S

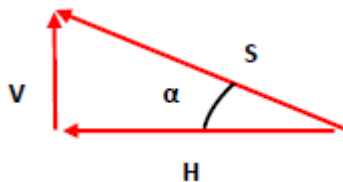
Köysivoiman S ja köysivoiman vaakakomponentin H välinen kulma lähdetään selvittämään derivoimalla paraabelin yhtälö. Seuraavaksi sijoitetaan x:n tilalle puolet jännevälän pituudesta. Tämä pituus on matka origosta tuelle, jossa laskettava kulma sijaitsee. Lopuksi kulman kaava saadaan yhtälöstä tangentin avulla.

$$y' = \frac{8f_{\theta}}{L^2} * x \quad (33)$$

$$y' = \frac{8f_{\theta} * L}{L^2 * 2} = \text{Tan } \alpha \quad (34)$$

$$\alpha = \text{Tan}^{-1} \frac{8f_{\theta} * L}{L^2 * 2} \rightarrow \alpha = \text{Tan}^{-1} \frac{8 * 318,20 \text{ mm} * 5000 \text{ mm}}{5000^2 \text{ mm} * 2} \rightarrow \alpha \approx 14,28^{\circ} \quad (35)$$

Kaavan komponenteista L tulee rakenteen jännevälstä. Jänneväli ei missään laskuprosessin vaiheessa muutu, joten jokaisella iterointikierröksellä käytetään samaa pituutta L. Sen sijaan taipuman arvo f_{θ} muuttuu jokaisella iterointikierröksellä. Tämän takia jokaisella kierroksella on muistettava laskea köysivoiman S ja vaakakomponentin H välinen kulma uudestaan.



Kuva 31. Köysivoiman S ja vaakakomponentin H välinen kulma.

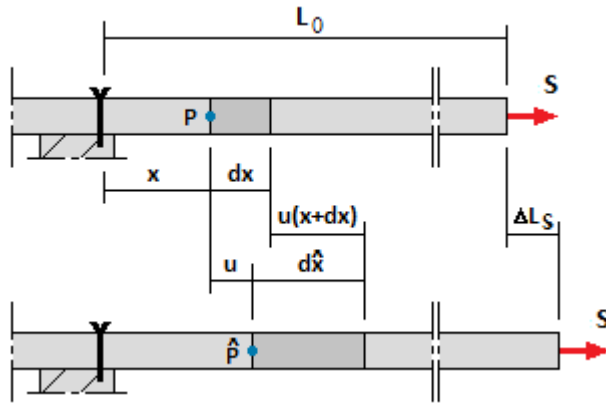
Laskelmissa kulmaa tarvitaan köysivoiman S selvittämiseen. Tässä tilanteessa tiedetään jo vaakavoima H. S saadaan pyöriteltä trigonometrian avulla.

$$\text{Cos } \alpha = \frac{H}{S} \quad (36)$$

$$S = \frac{H}{\text{Cos } \alpha} \rightarrow S = \frac{14741,13 \text{ N}}{\text{Cos } 14,28^{\circ}} \rightarrow S \approx 15211,13 \text{ N} \quad (37)$$

6.5 Köysivoiman S aiheuttama venymä

Alla olevassa kuvassa on esitetty voiman S venyttämä poimulevy. Poimulevystä on katkaistu tukeen menevän kiinnikkeen ulkoreunasta mitatulta x etäisyydeltä dx pituinen differentiaalipala. Differentiaalipalan venytetty pituus on $d\hat{x}$ ja siirtymä on $u(x)$. [9.]



Kuva 32. Venytetty poimulevy

Suhteelliselle venymälle ε saadaan johdettua yhtälö, jonka mukaan suhteellinen venymä pisteessä P on kyseisen pisteen siirtymän $u(x)$ derivaatta pituuskoordinaatin x suhteen. [9.]

$$\varepsilon = \frac{d\hat{x} - dx}{dx} = \frac{[(dx + u(x+dx)) - u(x)] - dx}{dx} = \frac{du}{dx} \quad (38)$$

Lineaarisesti sitkeälle ja kimmoisalle materiaalille voidaan johtaa jännityksen ja suhteellisen venymän yhteys. Kyseessä on HOOKEEn laki. Käytetään HOOKEEn lain kaavassa palomitoituksen kimmokertoimen tunnusta $E_{a,\theta}$. [9.]

$$\text{HOOKEEn laki: } \sigma = E * \varepsilon \rightarrow \sigma = E_{a,\theta} * \varepsilon \rightarrow \varepsilon = \frac{\sigma}{E_{a,\theta}} \quad (39)$$

Yhtälössä jännitys σ on tässä tilanteessa sama kuin poimulevyyn kohdistuva normaali-voima S jaettuna voiman vaikutus pinta-alalla. Lisäksi suhteellinen venymä ε on kaavan (38) mukaan du/dx , joten yhtälö saadaan pyöräytettyä integroitavaan muotoon. [9.]

$$\varepsilon = \frac{S}{E_{a,\theta} * A} = \frac{du}{dx} \rightarrow du = \frac{S}{E_{a,\theta} * A} dx \rightarrow \int_{u_0}^u du = \int_0^x \frac{S}{E_{a,\theta} * A} dx \quad (40)$$

Integroinnin jälkeen yhtälö on saatu muotoon, jossa u_0 on poimulevyn alkupään siirtymä. Voiman S venyttämä pituudenmuutos ΔL_S saadaan vähentämällä siirtymästä $u(x)$ poimulevyn alkupään siirtymä. [9.]

$$u(x) = u_0 + \frac{S}{E_{a,\theta} * A} * x \rightarrow u(L_{L+\Delta L_\theta}) - u_0 = \frac{S}{E_{a,\theta} * A} * L_{L+\Delta L_\theta} \quad (41)$$

$$\rightarrow \Delta L_S = \frac{S * L_{L+\Delta L_\theta}}{E_{a,\theta} * A} \quad (42)$$

Kaavassa $L_{L+\Delta L_\theta}$ on rakenteen pituus, jota venytetään voimalla S . Tarkasteltava venytettävä pituus on jänneväli, johon on lisätty lämpötilan aiheuttama pitenemä. $E_{a,\theta}$ on palotilannetta mitoittaessa palotilanteen tarkasteluhetken lämpötilaan muunnettu kimmokerroin. A puolestaan on jo edellä mainittu poimulevyn poikkileikkauksen pinta-ala, jolle voima S jakaantuu. Iterointikierröksillä vain S muuttuu.

Poikkileikkauksen pinta-ala saadaan laskettua poimulevyn painosta. Poimulevyjen painot saadaan selville poimulevyjen valmistajien tuote-esitteistä. Seuraavassa esimerkkilaskussa käytetään 0,7 mm paksua poimulevyä T130M-75L-930. Kyseisen poimulevyn tiedot on annettu sivun 8. kuvassa 6.

$$Paino = Tiheys * Pituus * Paksuus \rightarrow \frac{Paino}{Tiheys} = Leikkauspinta - ala = A \quad (43)$$

Teräksen tiheys annetaan SFS-EN 1993-1-2 Eurokoodi 3:sen osassa 1-2: rakenteiden palomitoituksessa. Samassa kohdassa kerrotaan teräksen tiheyden olevan riippumaton lämpötilanvaihteluista. Tiheydeksi ρ_a ilmoitetaan 7850 kg/m³. [12.]

$$A_{leikkaus} = \frac{11,40 \frac{kg}{m^2}}{7850 \frac{kg}{m^3}} = 1,452229299 * 10^{-3} m^2 \approx 1452,23 mm^2 \quad (44)$$

Voiman S aiheuttamaksi venymäksi saadaan:

$$\Delta L_S = \frac{S * L_{L+\Delta L_\theta}}{E_{a,\theta} * A} = \frac{15211,13 N * (5000 mm + 54 mm)}{24060,87 \frac{N}{mm^2} * 1452,23 mm^2} = 2,2 mm \quad (45)$$

6.6 Uusi kokonaispituuden muutos

Uusi kokonaispituudenmuutos on lämpöpitenevä ja äsken lasketun köysivoiman S aiheuttaman venymän yhteispituus. Kaavassa lämpöpitenevä on jokaisella kierroksella sama.

$$\Delta L = \Delta L_{\theta} + \Delta L_S \quad (46)$$

$$\Delta L = 54\text{mm} + 2,2\text{mm} = 56,2\text{mm} \quad (47)$$

Tässä vaiheessa laskelmia iterointi kierros on suoritettu. Ensimmäisellä kierroksella kokonaispituuden muutos sijoitetaan takaisin taipuman kaavaan ja lasketaan kaikki uudelleen uuden taipuman arvolla. Sivun 25 kuvasta 24 voidaan tarkistaa mihin kaikkeen taipuman muuttuminen vaikuttaa.

Seuraavilla kierroksilla tässä vaiheessa verrataan saatuja tuloksia edellisen kierroksen tuloksiin. Siinä vaiheessa, kun tulokset eivät enää oleellisesti eroa edellisen kierroksen tuloksista voidaan tyytyä vastauksien tarkkuuteen ja mennä eteenpäin.

Seuraavilla sivuilla esitetään seuraavat iterointikierrokset. Kierrosten aikana vertaillaan tuloksia edellisten kierrosten tuloksiin. Tämän ensimmäisen kierroksen jälkeen köysivoiman aiheuttama lämpöpitenevä pidensi pituudenmuutosta vain 2,2 mm. Tämä huomioon seuraavan kierroksen tuloksista huomataan kuinka paljon voimien suuruuksiin vaikuttaa, kun pituudenmuutoksena käytetään vain 2,2 mm pidempää pituudenmuutosta.

Toinen iterointikierrös:

$$f_{\theta} = \sqrt{\frac{\Delta L * 3 * L}{8}} = \sqrt{\frac{56,2mm * 3 * 5000mm}{8}} \quad (48)$$

$$f_{\theta} \approx 324,62mm \quad \text{Edellinen tulos: } 318,20mm \quad (49)$$

$$H = \frac{q * b * L_0^2}{8 * f} = \frac{1,501 * 10^{-3} \frac{N}{mm^2} * 1000mm * 5000^2mm}{8 * 324,62mm} \quad (50)$$

$$H \approx 14449,59 N \quad \text{Edellinen tulos: } 14741,13 N \quad (51)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{8f_{\theta} * L}{L^2 * 2} \rightarrow \alpha = \tan^{-1} \frac{8 * 324,62mm * 5000mm}{5000^2mm * 2} \quad (52)$$

$$\alpha \approx 14,56^{\circ} \quad \text{Edellinen tulos: } 14,28^{\circ} \quad (53)$$

$$S = \frac{H}{\cos \alpha} \rightarrow S = \frac{14449,59 N}{\cos 14,56^{\circ}} \quad (54)$$

$$S \approx 14929,04N \quad \text{Edellinen tulos: } 15211,13N \quad (55)$$

$$\Delta L_S = \frac{S * L_L + \Delta L_{\theta}}{E_{a,\theta} * A} = \frac{14929,04N * (5000mm + 54mm)}{24060,87 \frac{N}{mm^2} * 1452,23mm^2} \quad (56)$$

$$\Delta L_S = 2,16 mm \quad \text{Edellinen tulos: } 2,2 mm \quad (57)$$

$$\Delta L = \Delta L_{\theta} + \Delta L_S = 54mm + 2,16mm \quad (58)$$

$$\Delta L = 56,16mm \quad \text{Edellinen tulos: } 56,2mm \quad (59)$$

Tulokset vaihtelivat, joten lasketaan vielä kolmas kierros.

Kolmas iterointikierrös:

$$f_{\theta} = \sqrt{\frac{\Delta L * 3 * L}{8}} = \sqrt{\frac{56,16 \text{ mm} * 3 * 5000 \text{ mm}}{8}} \quad (60)$$

$$f_{\theta} \approx 324,50 \text{ mm} \quad \text{Edellinen tulos: } 324,62 \text{ mm} \quad (61)$$

$$H = \frac{q * b * L_0^2}{8 * f} = \frac{1,501 * 10^{-3} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 1000 \text{ mm} * 5000^2 \text{ mm}}{8 * 324,50 \text{ mm}} \quad (62)$$

$$H \approx 14454,93 \text{ N} \quad \text{Edellinen tulos: } 14449,59 \text{ N} \quad (63)$$

$$\alpha = \text{Tan}^{-1} \frac{8 f_{\theta} * L}{L^2 * 2} \rightarrow \alpha = \text{Tan}^{-1} \frac{8 * 324,50 \text{ mm} * 5000 \text{ mm}}{5000^2 \text{ mm} * 2} \quad (64)$$

$$\alpha \approx 14,55^{\circ} \quad \text{Edellinen tulos: } 14,56^{\circ} \quad (65)$$

$$S = \frac{H}{\text{Cos } \alpha} \rightarrow S = \frac{14454,93 \text{ N}}{\text{Cos } 14,55^{\circ}} \quad (66)$$

$$S \approx 14933,88 \text{ N} \quad \text{Edellinen tulos: } 14929,0 \text{ N} \quad (67)$$

$$\Delta L_S = \frac{S * L + \Delta L_{\theta}}{E_{a,\theta} * A} = \frac{14933,88 \text{ N} * (5000 \text{ mm} + 54 \text{ mm})}{24060,87 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 1452,23 \text{ mm}^2} \quad (68)$$

$$\Delta L_S = 2,16 \text{ mm} \quad \text{Edellinen tulos: } 2,16 \text{ mm} \quad (69)$$

$$\Delta L = \Delta L_{\theta} + \Delta L_S = 54 \text{ mm} + 2,16 \text{ mm} \quad (70)$$

$$\Delta L = 56,16 \text{ mm} \quad \text{Edellinen tulos: } 56,16 \text{ mm} \quad (71)$$

Tältä kierrokselta saatiin taipuman tulokseksi täsmälleen sama tulos kuin edellisellä kierroksella. Saman taipuman sijoittaminen seuraavalle kierrokselle toisi samat tulokset, kuin mitä tältä kierrokselta saatiin. Tämän kierroksen tulokset kelpaavat todella hyvin, joten iteroinnin voi lopettaa. Kolmen iterointikierröksen aikana, tarkempaa arvoa ha-
kiessa H:n kuormitus väheni 286,2 Newtonia ja S:n 277,25 Newtonia.

6.7 Vetojännitystarkastelu

Köysivoiman S selvittyä voidaan tarkistaa kestävätkö poimulevyt vetojännityksen vai katkeavatko ne. Köysivoima S on poimulevyn vedon resultantti. Jotta voidaan verrata vetojännitystä palotilanteen myötölujuuteen, on köysivoima S jaettava poimulevyn poikkileikkauksen pinta-alalla. [12.]

$$\sigma_{veto} = \frac{S}{A} \quad (72)$$

Tässä tilanteessa köysivoimasta aiheutuvaksi vetojännitykseksi saadaan:

$$\sigma_{veto} = \frac{14933,88N}{1452,23mm^2} \approx 10,29 \frac{N}{mm^2} \quad (73)$$

Vetojännitystä tulee verrata palotilanteen myötölujuuteen. Esimerkkinä käytettävän poimulevyn T130M-75L-930 myötölujuus laskettiin kaavassa 16. Seuraavaksi verrataan äsken laskettua vetojännitystä 15 minuuttia palossa olleen poimulevyn myötölujuuteen.

$$\sigma_{veto} \text{ Vs. } f_{y,\theta} \quad (73)$$

$$10,29 \frac{N}{mm^2} < 37,40 \frac{N}{mm^2} \quad (74)$$

Jos vetojännitys ylittää palotilanteen tarkasteluhetken myötölujuuden, ei köysirakenne ole kyseisessä hetkessä enää kasassa, vaan se on katkennut. [8.]

Tarkasteltavassa esimerkkitilanteessa vetojännitys alittaa poimulevyn palotilanteen myötölujuuden. Poimulevy toimii edelleen köysirakenteena 15 minuuttia tulipalon alkamisen jälkeen.

7 Rakenteiden mitoitus köysivoimalle

7.1 Poimulevyrakenteen liitosten mitoitus köysivoimalle

Tässä opinnäytetyössä tarkoitetaan liitosten ruuvimäärien riittävyys palotilanteessa. Seuraavissa kappaleissa tarkistetaan tarvittavat kiinnikemäärät metriä kohti, jotta poimulevy kykenee toimimaan köysirakenteena. Momenttijäykän liitoksen, kuten molemmin puoleisen pidennetyn päittäislimityksen suunnittelu jatkuvaksi rakenteeksi on jätetty opinnäytetyön ulkopuolelle. Liitoksen mitoitus tapahtuu normaalilämpötilassa esiintyvän momentin avulla. Seuraavissa tarkasteluissa kuitenkin tuodaan esille myös momenttijäykälle liitokselle palotilanteen kuormituksen vaatima ruuvimäärä ja kuinka palotilanteessa se mitoitetaan.

7.1.1 Poimulevyn liitos primäärikannattajiin

Tarvittavien kiinnikkeiden määrä tuella selviää jakamalla tuella vaikuttava vaakavoima H kiinnikkeen palotilanteen tarkastusajankohdan reunapuristuskestävyydellä. Alle on poimittu SFS-EN 1993-1-8 Eurocode 3: liitosten mitoituksesta löytyvä reunapuristuskestävyyden laskuohje.

Reunapuristuskestävyys ^{1), 2), 3)}	$F_{b,Rd} = \frac{k_1 a_b f_u d t}{\gamma_{M2}}$ <p>missä a_b on pienin arvoista α_d; $\frac{f_{ub}}{f_u}$ ja 1,0;</p> <p>siirrettävän voiman suunnassa:</p> <ul style="list-style-type: none"> - levyn pään ruuveille: $\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0}$; - muille kuin pään ruuveille: $\alpha_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}$ <p>kohtisuorassa suunnassa siirrettävään voimaan nähden:</p> <ul style="list-style-type: none"> - reunarivin ruuveille : k_1 on pienin arvoista $2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7$ ja 2,5 - muille kuin pään ruuveille: k_1 on pienin arvoista $1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7$ ja 2,5
--	--

Kuva 33. Reunapuristuskestävyyden laskeminen. [15.]

Kiinnikkeet tulisi tarkastaa myös palotilanteen leikkauskestävyydeltä. Tässä opinnäytetyössä tarkistetaan reunapuristuskestävyys, joka yleensä määräävä.

Käytetään reunapuristuskestävyyden kaavoissa 8.8 lujuusluokkaan kuuluvaa poraruuvia, jonka halkaisija on 5,5mm. Ruuvin pääty ja reunaetäisyys on vaadittu minimi 25mm. 8.8 lujuusluokkaan kuuluvan ruuvin myötöraja f_{yb} on 640N/mm^2 ja vetomurtolujuus f_{ub} on 600N/mm . Aloitetaan reunapuristuslujuuden laskeminen kaavaan tarvittavien komponenttien selvittelyllä.

$$K_1 = \min\left(2,8 * \frac{25\text{mm}}{5,5\text{mm}} - 1,7 = 11,03 \quad , \quad 2,5\right) \quad (75)$$

$$K_1 = 2,5 \quad (76)$$

a_b :n kaavassa d_0 on poraruuvin halkaisija d .

$$a_b = \min\left(a_d = \frac{25\text{mm}}{3*5,5\text{mm}} = 1,51 \quad , \quad \frac{600}{355} = 2,25 \quad , \quad 1,0\right) \quad (77)$$

$$a_b = 1,0 \quad (78)$$

Reunapuristuskestävyyden kaavassa f_u on palotilanteen tarkasteluhetken mukainen. Kaavasta 18 löydetään murtolujuuden arvoksi $37,4\text{N/mm}^2$.

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5*1,0*37,4\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}*5,5*0,9\text{mm}}{1,25} = 370,26\text{N} \quad (79)$$

Seuraavaksi voima H jaetaan reunapuristuskestävyydellä.

$$\text{Tuella tarvittava ruuvimäärä} = \frac{14454,93\text{N}}{370,26\text{N}} \approx 40 \frac{\text{Ruuvia}}{\text{metri}} \quad (80)$$

Vastaukseksi saadaan, kuinka monta ruuvia tuella tarvitaan metrin levyiselle kaistaleelle, jotta kiinnitys on riittävä vaakavoimaa H varten. 40 ruuvia/metri on aika suuri määrä. Edellä olevassa laskelmassa tarkastellaan ainoastaan poimulevyjen lämpötiloja. Muiden rakenteiden analysointi on rajattu opinnäytetyön ulkopuolelle. Tiedostetaan kuitenkin mahdollisuus käyttää poimulevyille paikallisesti alempaa lämpötilaa tilanteessa, jossa tuki suojelee poimulevyn ja tuen liitosta lämpenemästä yhtä nopeasti kuin poimulevy lämpenee kentällä.

Kokeillaan esimerkin omaisesti monta ruuvia tarvitaan, jos tuki on suojannut poimulevyä ja lämpötila on vain 550°C. Edellä tehdyssä reunapuristuskestävyyden kaavassa kaikki muu pysyy samana paitsi palotilanteen murtolujuus. Palotilanteen murtolujuus saadaan laskettua luvun 5.2 mukaisesti. 550°C ylittää 400°C, joten palotilanteen murtolujuutena käytetään jälleen palotilanteen myötörajaa. Myötöraja ei ole sama kuin aikaisemmin laskettu. Uusi myötöraja tulee laskea lämpötilalle 550°C. Luvun 5.2 ohjeilla palotilanteen myötörajaksi saadaan 145,25N/mm². Jolloin reunapuristuskestävyyden arvoksi saadaan:

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot 1,0 \cdot 145,25 \frac{N}{mm^2} \cdot 5,5 \cdot 0,9mm}{1,25} = 1437,97N \quad (81)$$

Seuraavaksi voima H jaetaan reunapuristuskestävyydellä.

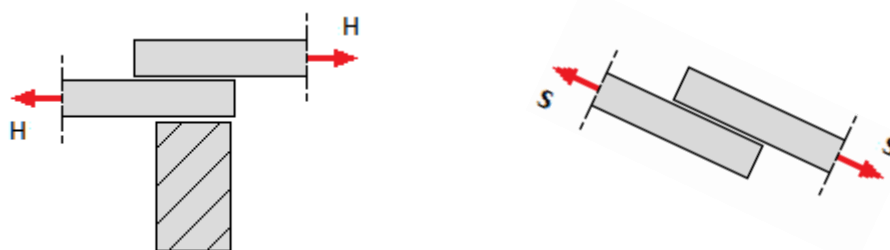
$$Tuella\ tarvittava\ ruuvimäärä = \frac{14454,93\ N}{1437,97N} \approx 11 \frac{Ruuvia}{metri} \quad (82)$$

11 ruuvia/metri kuulostaa paljon järkevämmältä tulokselta ja inhimillisemmältä asennusmäärältä.

7.1.2 Poimulevyn liitos poimulevyyn

Poimulevyn liitos poimulevyyn voi tapahtua joko tuella tai kentässä. Jos poimulevyn liitos poimulevyyn on esimerkiksi tuelle tuleva niveljatkos, jossa poimulevyt yhteen liittävä kiinnike kiinnittää poimulevyt myös tukeen, tuelle tulevan jatkoksen vaadittu minimi kiinnikemäärä mitoitetaan täsmälleen samalla tavalla kuin edellisessä kohdassa poimulevyn liitos primäärikannattajiin mitoitettiin.

Jos poimulevyn liitos poimulevyyn on esimerkiksi kenttään sijoitettava Gerber-jatkos, sivun 15 kuva 16, mitoitus tapahtuu jälleen kerran samalla kaavalla, mutta kaavassa tuella vaikuttavan vaakavoiman H tilalla käytetään kentässä vaikuttavaa köysivoimaa S .

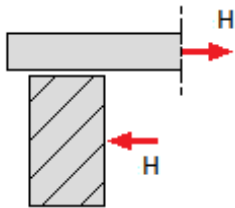


Kuva 34. Tuella liitoksien mitoittava voima H ja kentässä mitoittava voima S

Toispuoleisessa ja molemmin puoleisessa pidennytyssä päittäislimityksessä poimulevyt kiinnitetään toisiinsa kenttään ja tukeen sijoittuvilla kiinnikkeillä. Kenttään sijoittuvat kiinnikkeet muussa tapauksessa mitoitettaisiin köysivoiman S mukaan, mutta koska poimulevyt on kuitenkin tässä liitostyyppissä samalla kiinnitettävä riittävän kiinnikemäärin myös tukeen, ei kenttään sijoitettavia kiinnikkeitä turhaan tarvitse edes tarkistaa. Tuen kiinnitykset mahdollistavat jo poimulevyrakenteen roikkumisen tukien välissä, joten kenttään tulevat lisäkiinnitykset eivät toisi liitokselle tässä tilanteessa mitään lisää.

7.2 Katon jäykistävien rakenteiden mitoitus köysivoimalle

Rakenteen päädyssä olevalla tuella esimerkiksi palkilla on erilainen tilanne kuin keskellä olevilla palkeilla. Keskellä olevat palkit, joiden molemmilla puolilla on poimulevyt saavat palotilanteessakin molemmilta puolilta tasapainottavan tuen. Kuvassa esimerkki pääty-palkista, jolla tilanne on toinen.



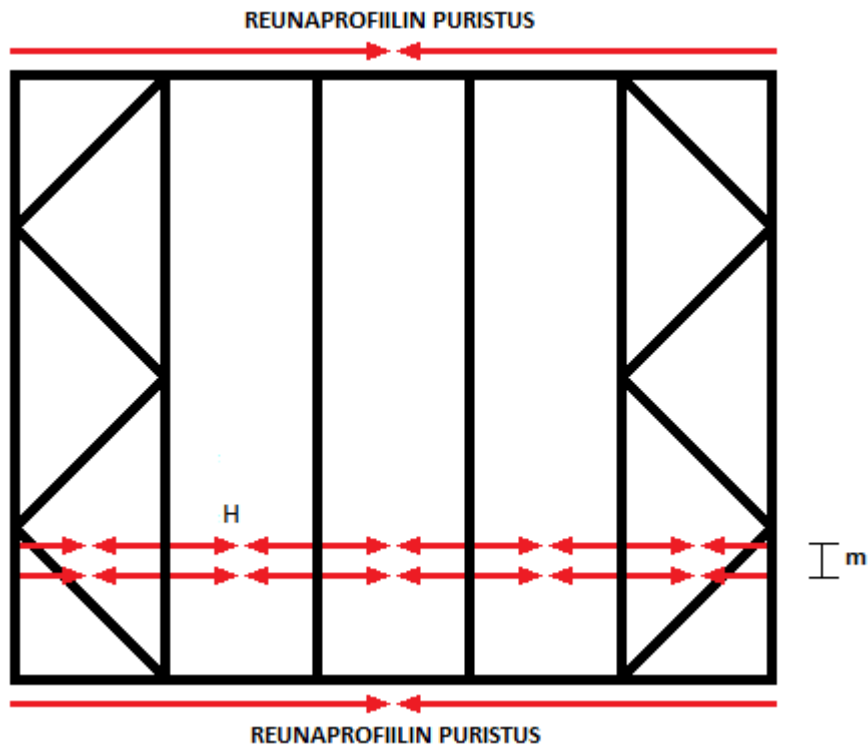
Kuva 35. Poimulevy päätypalkkiin

Kuvassa vaakavoima H vetää palkkia oikealle. Rakenne ei jatku vasemmalle, joten tasapainottavan voiman on mentävä tai tultava jostain muualta. Koko rakenteen toimivuuden kannalta päätypalkin on samalla tavalla kyettävä ottamaan vastaan vaakakuormat. Muuten muun rakennuksen vaakakuormien jakamisella viereisille rakenteille ei ole merkitystä, jos rakenne ei kuitenkaan ole kokonaisuudessaan tasapainossa.

Seuraavan sivun kuvassa 36 on esitetty teräshallin kattorakenne ylhäältäpäin. Kuvan päätypalkit sijaitsevat vasemmalla ja oikealla reunalla. Näillä reunoilla sijaitsevat myös rakennetta jäykistävät tuuliristikot. Kattorakenteen ylä- ja alalaidalla sijaitsevat vinositeet. Tuuliristikot on mitoitettava siirtämään palkille vetona tuleva vaakavoima H vinositeille puristukseksi. Tällä tavalla myös kuvan 35 päätypalkki saa tasapainottavan vaakavoiman H .

7.2.1 Tuuliristikot

Kuvaan 36 on merkitty aikaisemmissa laskelmissa laskettu vaakavoima H . Vaakavoimaa laskiessa tarkasteltiin metrin levyistä kaistaa. Tämä tuli määriteltyä kuormia laskiessa. Todellisuudessa vaakavoima vaikuttaa rakennuksen koko leveydellä. Tuuliristikot on mitoitettava kannattelemaan päätypalkki, jonka kuormitus on H/m . Eli H :n todellisuudessa aiheuttama kokonaiskuorma on H kertaa rakennuksen leveys metreissä.



Kuva 36. Poimulevy päätypalkkiin

7.2.2 Siteet

Yllä olevassa kuvassa reunaprofiileja on kaksi kappaletta rakennuksen molemmilla vaakasuuntaisilla sivuilla. Rakennuksessa esimerkiksi harjalla voisi kulkea kolmas. Tässä kahden vinositeen tilanteessa yhden vinositeen kuorma on:

$$\text{Reunaprofiilin puristus} = \frac{H * \text{rakenteen leveys metreissä}}{2} \quad (83)$$

[8.]

8 Yhteenveto ja loppupäätelmät

Poimulevyjen hyviä puolia ovat niiden monipuolinen toimiminen muun rakenteen kannalta. Poimulevyt toimivat primääri- ja sekundääri kannattimien kiepahdus- ja nurjahdustukina, sekä muun rakenteen jäykistävänä rakenteena. Poimulevyillä on korkea kuormituskapasiteetti ja kestävyys suhteutettuna painoon. Kevyet ja ohuet poimulevyt valitettavasti lämpenevät palotilanteessa nopeasti ja menettävät kantokykynsä. Sitkeänä materiaalina voivat poimulevyt kuitenkin oikein mitoitettuna edelleen köysirakenteenakin jakaa kuormansa muulle rakenteelle ja toimia kannattimien kiepahdus- ja nurjahdustukina.

Poimulevyjen oikeanlainen palomitoitus on koko rakenteen kannalta tärkeää. Poimulevyjen mitoitus köysirakenteena toimivaksi on tarkastettava. Jos poimulevyt tai niiden liitokset eivät ole suunniteltu palotilanteen uudelleen järjestäytyneitä kuormia varten, poimulevyt katkeavat tai valahtavat tuelta. Tällaisessa tapauksessa poimulevyjen kuormat eivät ketjureaktiomaisesti pääse jakaantumaan muulle rakenteelle. Rakenteen stabiilius on uhattu ja jatkuva sortuma mahdollinen.

Palomitoitus toteutetaan muuntamalla poimulevyjen ominaisuudet palotilanteen mukaisiksi. Kuormitukset tulee laskea onnettomuustilanteen kertoimilla. Suurin osa laskuista suoritetaan iteroiden eli kierrättämällä tuloksia, kunnes saavutetaan niille tyydyttävä tarkkuus. Tämän opinnäytetyön iterointi esimerkissä vaadittiin vain kolme laskukierrosta. Kolmannelta laskukierrokselta saatujen voimien suuruudet pienenevät verrattuna ensimmäisen laskukierroksen tuloksiin noin 280 Newtonia. Jos iterointi tämän perusteella vaikutti turhan työläältä näin pienen eroavaisuuden löytämiseksi, on tiedostettava millä tavoin ja mihin kaikkeen kuormitus vaikuttaa.

Lisäksi laskuesimerkissä johdateltiin laskuprosessi läpi, mutta rakennetta ei alettu optimoimaan. Käyttämällä pidempää jänneväliä ja ohuempaa peltiä voivat iterointikierrosten tulokset vaihdella enemmän. Kahta edellä mainittua vaihtelemalla voidaan myös saada poimulevy sopivasti roikkumaan, jolloin köysivoimasta jakaantuu pystykomponentille enemmän kuormaa ja vaakakomponentin kuormitus kevenee.

Köysivoima ja siitä saatu vaakakomponentti laskettiin metrin levyiselle kaistaleelle. Vaakavoiman pienikin suuruuden pudottaminen kertaantuu mitoittaessa kuinka suuren voiman tuuliristikot joutuvat siirtämään reunaprofiileille ja kuinka suuren voiman puristusta reunaprofiilien on kestävä.

Vaakavoimien saaminen mahdollisimman pieneksi on tärkeää myös liitoksien kiinnikemääriä laskiessa. Kiinnikkeiden määrät olisi hyvä saada mahdollisimman pieniksi. Kiinnikkeet on saatava normien vaatimukset täyttäen sijoitettua profiileihin. Asennustakin ajatellen pienemmät kiinnikemäärät ovat toivottavia.

Tässä opinnäytetyössä laskettiin kiinnikkeiden vähimmäisvaatimukset. Kiinnikkeiden esimerkkilaskussa kokeiltiin paljonko kiinnikkeiden määrät pienenevät, jos käytetään tuen ja poimulevyn välissä olevaa matalampaa lämpötilaa. Kiinnikkeiden määrät putosivat huomattavasti, asennusta ajatellen inhimilliseen määrään. Opinnäytetyössä ei esitetty ratkaisua, miten kenttään sijoituvan liitoksen määrä saadaan pienennettyä.

Jatkotutkimuksissa voisi tutkia tapoja, joilla kiinnikkeiden määrää saisi pienennettyä. Tutkimuksissa voisi kartoittaa poimulevyistä paikallisesti viileämpien kohtien lämpötiloja, jotta kiinnikemääriä ei tulisi mitoitettua vain poimulevyn kentässä olevan lämpötilan mukaan.

Palosuojaus rajattiin opinnäytetyön ulkopuolelle. Jatkotutkimuksissa voisi selvittää onko poimulevyjen liitosten palosuojaaminen kannattavaa ja millä tavalla sen saisi mahdollisesti toteutettua. Saisiko palosuojaamisesta ratkaisun kenttään tulevan Gerber-liitoksen kiinnikemäärien pienentämiseen.

Myös kiinnikkeiden lähempi tarkastelu rajattiin opinnäytetyön ulkopuolelle. Jatkotutkimuksissa voisi tutustua syvemmin kiinnikkeiden, kuten poraruuvien palokäyttäytymiseen ja palotilanteen leikkauskestävyyteen.

Opinnäytetyössä mainittiin tilanne, jossa tuki on menettänyt kantavuutensa ja poimulevyt edelleen toimivat köysirakenteen tavoin. Tilanteessa voisi tarkkailla kiinnikkeiden ulosvetolujuutta ja millainen kanta kiinnikkeellä on oltava, ettei kiinnike lävisty pehmenneestä poimulevystä tuen vetäessä rakennetta alaspäin.

Lähteet

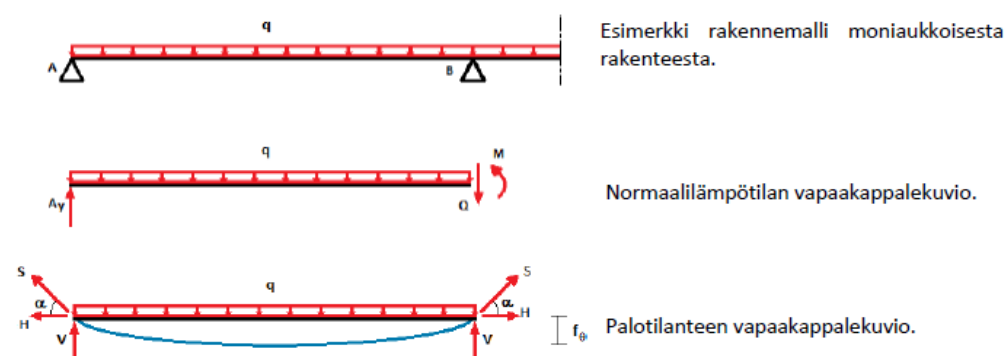
- 1 Metsämäki, J., Heikkilä, S., Joensuu J., Perttula P., Mannila, P., Saarinen S., Olli, T., Turpela, V., Polvi, A., Hautala, M., Hirviniemi, J., Valtari, J., Lehtinen, I., Tanhuanpää, J., Matilainen J. & Kotanen, R. 2001. Rannilan rakennejärjestelmä -käsikirja. Keuruu: Rannila Steel.
- 2 Ruukki, 24.4.2018, Kantavat poimulevyt -Power Point.
- 3 Ruukin nettisivu, <https://www.ruukki.com/fin/katot/tuotteet/kattomallisto>, luettu 13.11.2018
- 4 Ruukki Construction, kantava poimulevy T70-57L-1058 tuotetiedot, 2016, <https://www.ruukki.com/docs/default-source/system-products-pdfs/suomi-ruukki/kantava-poimulevy-t70-57l-1058-fi.pdf?sfvrsn=0&t=636594303161770000>, Luettu 13.11.2018
- 5 Weckman Steel Oy, kantavat rakenteet, <http://www.weckmansteel.fi/kantavat-rakenteet/>, Luettu 13.11.2018
- 6 Weckman Steel Oy, Asennusohje, kantavat poimulevyt, http://www.weckmansteel.fi/wp-content/uploads/2017/04/Asennusohje-kantavat_poimulevyt_2015.pdf, Luettu 13.11.2018
- 7 Ruukki Construction, Kantavat poimulevyt, Asennusohje, https://cdn.ruukki.com/docs/default-source/b2b-documents/load-bearing-sheets/load-bearing-sheets/ruukki_kantavat_poimulevyt_asennusohje.pdf?sfvrsn=57408184_10, Luettu 13.11.2018
- 8 Outinen Jyri. TRY Teräsnormikortti N:o 19/2011, http://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/238/37c3274/Terasnormikortti_19_2011.pdf, luettu 13.11.2018
- 9 Salmi Tapani, Kuula kai, Rakenteiden mekaniikka, 2012, Pressus Oy, ISBN-13:9789529835836
- 10 Ympäristöministeriö, Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakenteiden lujuus ja vakaus, Kantavien rakenteiden suunnitteluperusteet, 2016
- 11 Suomen standardoimisliitto SFS r.y. 2016, SFS-EN 13501-2:2016, Fire classification of construction products and building elements. Part 2: Classification using data from fire resistance tests, excluding ventilation services
- 12 Suomen standardoimisliitto SFS r.y. 2015, SFS-EN 1993-1-2, Eurocode 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Rakenteen palomitoitus

- 13 Ympäristöministeriö, 2017, Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta
- 14 The Engineering Toolbox, Nettisivu, https://www.engineeringtoolbox.com/cable-loads-d_1816.html, Luettu 13.11.2018
- 15 Suomen standardoimisliitto SFS r.y, 2005, SFS-EN 1993-1-8, Eurocode 3. Teräs-rakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten mitoitus.
- 16 Rautaruukki Oyj, Kantava poimulevy, Nettisivu, <https://www.ruukki.com/fin/b2b/tuotteet/kantavat-ja-muut-profiilit/kantavat-poimulevyt/load-bearing-sheets-details/load-bearing-sheets-t45-30l-905>, Luettu 13.11.2018
- 17 Weckman Steel Oy, Kantava poimulevy, Nettisivu, <http://www.weckmansteel.fi/wp-content/uploads/2017/04/w-115-750pl-kuva-pikkukuva.jpg>, Luettu 13.11.2018
- 18 Ruukki Construction, Kantava poimulevy T130M-75L-930, <https://www.ruukki.com/docs/default-source/system-products-pdfs/suomi-ruukki/kantava-poimulevy-t130m-75l-930-fi.pdf?sfvrsn=0&t=636763644907570000>, Luettu 13.11.2018

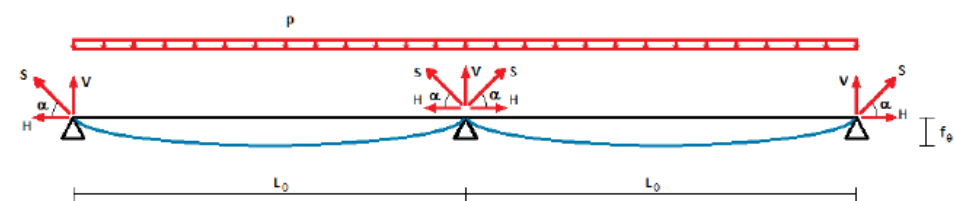
Poimulevyjen palomitoitus

Poimulevyjen palomitoitus sisältää kuvakaappaukset ohjeistuksesta, jossa esitetään tiivistettynä opinnäytetyön pääkohtia palomitoituksen kannalta. Tämän ohjeistuksen pohjalta luotiin Sweco Rakennetekniikka Oy:n omalle dokumenttipohjalle ohjeistus, joka luovutettiin Sweco Rakennetekniikka Oy:n käyttöön.

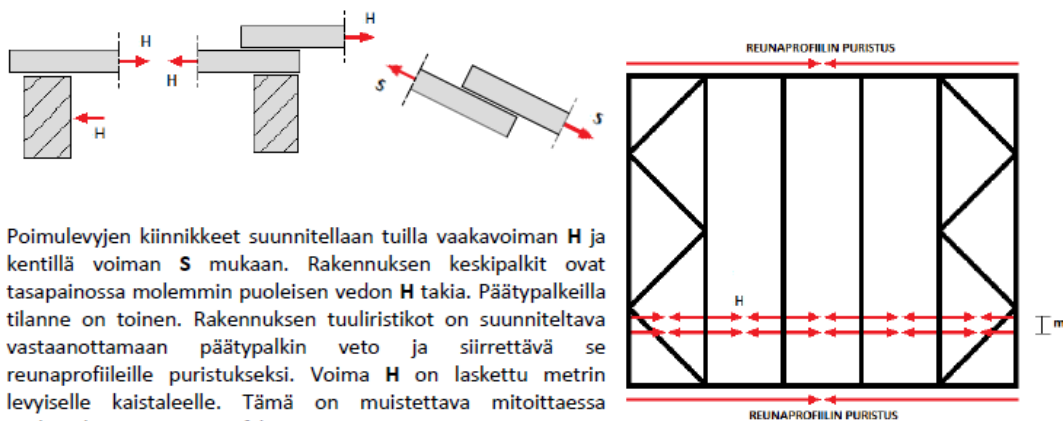
POIMULEVYJEN PALOMITOITUS



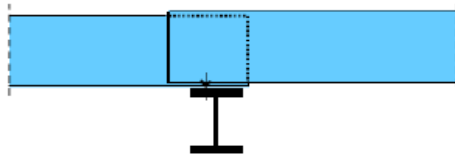
Sininen kaari kuvastaa roikkuvaa poimulevyä. Köytenä toimivalla poimulevyllä ei ole voimia M ja Q . Poimulevyllä on vain aksiaalinen normaalivoima S . Taipuma f_{θ} vaikuttaa missä kulmassa S jakaantuu tuella komponentteihin V ja H . V menee normaalilämpötilan tukireaktiolle A_y . Voimat H ja S on huomioitava.



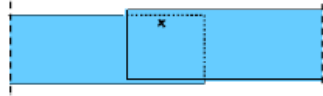
Köysirakenteenakin poimulevyt voivat toimia kannattimien kiepahdus- ja nurjahdustukina. Kuvasta huomataan voimien symmetrinen jakaantuminen. On tärkeää varmistaa, ettei köysirakenne katkea voiman S takia, tai valahda tuelta voimalle H riittämättömän kiinnityksen takia. Tällaisessa tilanteessa poimulevyt eivät enää ketjureaktiomaisesti jaa kuormituksiaan. Kannattimien stabiilius on uhattu ja jatkuva sortuminen mahdollinen.



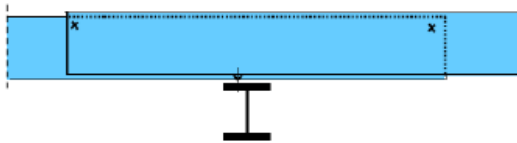
Poimulevyjen kiinnikkeet suunnitellaan tuella vaakavoiman H ja kentillä voiman S mukaan. Rakennuksen keskipalkit ovat tasapainossa molemmin puoleisen vedon H takia. Päätypalkeilla tilanne on toinen. Rakennuksen tuuliristikot on suunniteltava vastaanottamaan päätypalkin veto ja siirrettävä se reunaprofiileille puristukseksi. Voima H on laskettu metrin levyiselle kaistaleelle. Tämä on muistettava mitoittaessa tuuliristikoida ja reunaprofiileja.



Poimulevyt tulee kiinnittää tukiin. Tukien kiinnitykset mitoitetaan vaakavoiman **H** mukaan. Myös tuelle sijoitettavat poimulevyjen jatkoksien kiinnitykset tulee mitoittaa vaakavoiman **H** mukaan. Kuvassa esimerkkinä tuelle tuleva nivel-jatkos.



Kentälle sijoitettavat jatkokset ja kiinnikemäärät tulee mitoittaa köysivoiman **S** mukaan. Kuvassa esimerkkinä Gerber-jatkos.



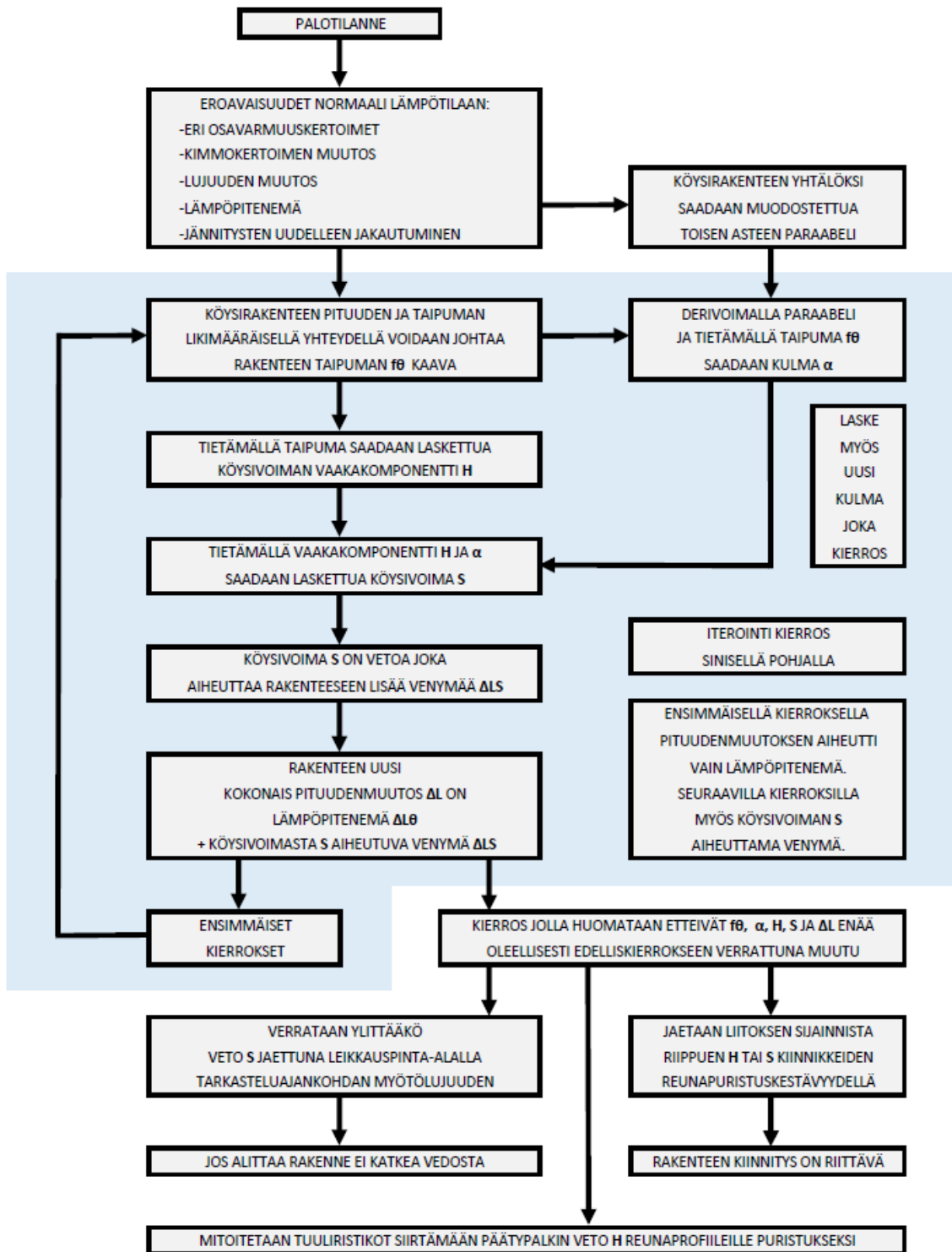
Kuvan molemminpuolisen pidennetyn päittäislimityksen kentälle tulevat kiinnikkeet tulisi mitoittaa köysivoiman **S** ja tuelle tulevat kiinnikkeet vaakavoiman **H** mukaan. Kyseisessä liitoksessa kuitenkin riittää, kun poimulevyjen tukiin tuleva kiinnitys on mitoitettu vaakavoimalle **H**. Jo tämä varmistaa poimulevyjen yhdessä pysymisen ja estää tuelta valahtamisen.

Kiinnityksien riittävien kiinnikemäärien lisäksi on tarkistettava kestääkö poimulevy köysivoiman **S** aiheuttaman aksiaalisen vedon. Tarkistus suoritetaan vertaamalla ylittääkö vedon **S** aiheuttama jännitys poimulevyn palotilanteen myötölujuuden. Ylittäessä poimulevy ei enää kyseisellä tarkasteluhetkellä ole köysirakenteena, vaan se on katkennut. Vedon **S** aiheuttaman jännityksen laskemiseen tarvitaan poimulevyn leikkauspinta-ala **A**. Pinta-ala saadaan selvitettyä poimulevyn painosta, joka selviää valmistajien nettisivuilta löytyvistä poimulevyjen tuote-esitteistä.

$$\sigma_{veto} \text{ Vs. } f_{y,\theta}$$

$$\sigma_{veto} = \frac{S}{A}$$

$$Paino = Tiheys * Pituus * Paksuus \rightarrow \frac{Paino}{Tiheys} = Leikkauspinta - ala = A$$



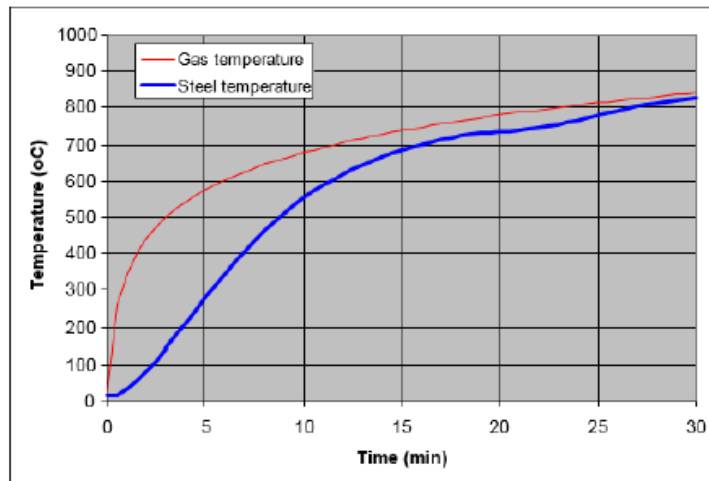
Laskuprosessi

Seuraavasta paikasta löytyvät määritelmät ja ohjeistukset onnettomuustilanteen kuormitusyhdistelmille: Ympäristöministeriö, Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakenteiden lujuus ja vakaus, Kantavien rakenteiden suunnitteluperusteet, 2016.

Kiteytettynä kertoimet ovat seuraavat:

Pysyväkuorman kerroin: 1,0

Lumikuorman kerroin: $0,4 \leq 2,75 \text{ kN/m} \geq 0,5$



Poimulevyjen palotilanteen lämmönkehitys seuraa kaasun lämpötilaa. Laskentaa voidaan yksinkertaistaa ja käyttää poimulevyjen lämpötilana kaasun lämpötilaa.

Eurooppalaisesta standardista EN 13501-2 löytyy standardi palokäyrän laskukaava.

$$T = 345 \log_{10}(8t+1) + 20$$

$T = \theta_a =$ Lämpötila [°C]

$t =$ Aika esim. 15min.

— kun $20 \text{ °C} \leq \theta_a < 750 \text{ °C}$:

$$\Delta l / l = 1,2 \times 10^{-5} \theta_a + 0,4 \times 10^{-8} \theta_a^2 - 2,416 \times 10^{-4}$$

— kun $750 \text{ °C} \leq \theta_a \leq 860 \text{ °C}$:

$$\Delta l / l = 1,1 \times 10^{-2}$$

— kun $860 \text{ °C} < \theta_a \leq 1200 \text{ °C}$:

$$\Delta l / l = 2 \times 10^{-5} \theta_a - 6,2 \times 10^{-3}$$

Teräksen pituuden muutoksen laskeminen on esitetty SFS-EN 1993-1-2 Eurokoodi 3:sen osassa 1-2: rakenteiden palomitoituksessa seuraavanlaisesti.

$\Delta l = \Delta L =$ pituuden muutos

$l = L =$ Rakenteen jänneväli

Esimerkiksi ylintä kaavaa käyttäessä kaava halutaan pyöräyttää muotoon:

$$\Delta l = (1,2 \times 10^{-5} * \theta_a + 0,4 \times 10^{-8} * \theta_a^2 - 2,416 \times 10^{-4}) * l$$

Teräksen kimmokertoimen muuntaminen palotilanteen lämpötilan mukaiseksi on esitetty SFS-EN 1993-1-2 Eurokoodi 3:sen osassa 1-2: rakenteiden palomitoituksessa seuraavan taulukon avulla.

Teräksen lämpötila	Pienennystekijät lämpötilassa θ_a suhteessa 20 °C lämpötilaa vastaaviin arvoihin f_y tai E_a		
	Tehollisen myötörajan pienennystekijä (suhteessa arvoon f_y)	Suhteellisuusrajan pienennystekijä (suhteessa arvoon f_y)	Kimmokertoimen pienennystekijä (suhteessa arvoon E_a)
θ_a	$k_{y,\theta} = f_{y,\theta} / f_y$	$k_{p,\theta} = f_{p,\theta} / f_y$	$k_{E,\theta} = E_{a,\theta} / E_a$
20 °C	1,000	1,000	1,000
100 °C	1,000	1,000	1,000
200 °C	1,000	0,807	0,900
300 °C	1,000	0,613	0,800
400 °C	1,000	0,420	0,700
500 °C	0,780	0,380	0,600
600 °C	0,470	0,190	0,310
700 °C	0,220	0,075	0,130
800 °C	0,110	0,050	0,090
900 °C	0,060	0,0375	0,0675
1000 °C	0,040	0,0250	0,0450
1100 °C	0,020	0,0125	0,0225
1200 °C	0,000	0,0000	0,0000

HUOM. Väliarvot lämpötilan suhteen saadaan lineaarisesta interpoloinnista käyttäen.

Teräksen palotilanteen kimmokertoimen pienennystekijä eli kerroin $k_{E,\theta}$ löytyy oikeasta sarakkeesta. Teräksen palotilanteen lämpötilat löytyvät vasemmasta sarakkeesta. Jos lämpötila ei sattumalta ole tasaluku kuten 700 °C, on kertoimen väliarvo hankittava lineaarisesta interpoloinnista käyttäen.

Esimerkkinä 15 minuutin lämpötila 738,56 °C: poimitaan taulukosta 700 °C:n kohdalta 0,130 ja 800 °C:n kohdalta 0,09. Näillä luvuilla päädytään seuraavaan interpolointiin:

$$k_{E,\theta} = 0,13 - (0,13 - 0,09) * \frac{738,56 - 700}{800 - 700} = 0,114576$$

Kimmokertoimen pienennyskerroin on saatu jakamalla palotilanteen kimmokerroin normaalilämpötilan kimmokertoimella. Eli palotilanteen kimmokerroin saadaan kertomalla teräksen normaalilämpötilan kimmokerroin äsken lasketulla pienennyskerroimella.

$$E_{a,\theta} = k_{E,\theta} * E_a = 0,1145756 * 210000 \frac{N}{mm^2}$$

$$E_{a,\theta} = 24060,87 \frac{N}{mm^2}$$

Teräksen myötölujuuden f_y muuntaminen palotilanteen lämpötilan mukaiseksi on esitetty SFS-EN 1993-1-2 Eurokoodi 3:sen osassa 1-2: rakenteiden palomitoituksessa liitteessä E seuraavan taulukon avulla.

Teräksen lämpötila θ_a	Mitotuslujuuden pienennystekijä (suhteessa arvoon f_y) kuumavalssatuille ja hitsatuille poikkileikkausluokan 4 poikkileikkauksille $k_{p0,2,\theta} = f_{p0,2,\theta} / f_y$	Mitotuslujuuden pienennystekijä (suhteessa arvoon f_{y0}) kylmämuovatuille poikkileikkausluokan 4 poikkileikkauksille $k_{p0,2,\theta} = f_{p0,2,\theta} / f_{y0}$
20 °C	1,00	
100 °C	1,00	
200 °C	0,89	
300 °C	0,78	
400 °C	0,65	
500 °C	0,53	
600 °C	0,30	
700 °C	0,13	
800 °C	0,07	
900 °C	0,05	
1000 °C	0,03	
1100 °C	0,02	
1200 °C	0,00	

HUOM. 1 Väliarvot lämpötilan suhteen saadaan lineaarista interpoloinia käyttäen.
HUOM. 2 f_{y0} :n määrittely on standardin EN 1993-1-3 mukainen.

Taulukko on hyvin paljon samannäköinen, kuin kimmokertoimen muuntotaulukko. Taulukkoa käytetään myös samalla tavoin. Taulukosta poimitaan samalla tavalla vasemmasta sarakkeesta lämpötilat ja oikealta kertoimet. Taulukon kertoimien välitulokset tulee interpoloida. Palotilanteen myötölujuus $f_{y\theta}$ saadaan kertomalla normaalilämpötilan myötölujuus f_y taulukosta saadulla kertoimella.

Teräksen palotilanteen vetomurtolujuuden laskeminen on esitetty SFS-EN 1993-1-2 Eurokoodi 3:sen osan 1-2: rakenteiden palomitoituksen liitteessä A seuraavanlaisesti:

— kun $\theta_a < 300$ °C:

$$f_{u,\theta} = 1,25 f_{y,\theta}$$

— kun 300 °C $\leq \theta_a < 400$ °C:

$$f_{u,\theta} = f_{y,\theta} (2 - 0,0025 \theta_a)$$

— kun $\theta_a \geq 400$ °C:

$$f_{u,\theta} = f_{y,\theta}$$

$f_{y,\theta}$ = Palotilanteen myötölujuus

$f_{u,\theta}$ = Palotilanteen murtolujuus

Mitoituksen iterointikierroksien laskukaavojen järjestys kolmelle kierrokselle esitettynä.

Kierros 1.

$$f_{\theta,1} = \sqrt{\frac{\Delta L * 3 * L}{8}}$$

$$H_1 = \frac{q * b * L_0^2}{8 * f_{\theta,1}}$$

$$\alpha_1 = \text{Tan}^{-1} \frac{8 * f_{\theta,1} * L}{L^2 * 2}$$

$$S_1 = \frac{H_1}{\text{Cos } \alpha_1}$$

$$\Delta L_{S,1} = \frac{S_1 * L_{L+\Delta L_{\theta}}}{E_{\alpha,\theta} * A}$$

$$\Delta L_1 = \Delta L_{\theta} + \Delta L_{S,1}$$

Kierros 2.

$$f_{\theta,2} = \sqrt{\frac{\Delta L_1 * 3 * L}{8}}$$

$$H_2 = \frac{q * b * L_0^2}{8 * f_{\theta,2}}$$

$$\alpha_2 = \text{Tan}^{-1} \frac{8 * f_{\theta,2} * L}{L^2 * 2}$$

$$S_2 = \frac{H_2}{\text{Cos } \alpha_2}$$

$$\Delta L_{S,2} = \frac{S_2 * L_{L+\Delta L_{\theta}}}{E_{\alpha,\theta} * A}$$

$$\Delta L_2 = \Delta L_{\theta} + \Delta L_{S,2}$$

Kierros 3.

$$f_{\theta,3} = \sqrt{\frac{\Delta L_2 * 3 * L}{8}}$$

$$H_3 = \frac{q * b * L_0^2}{8 * f_{\theta,3}}$$

$$\alpha_3 = \text{Tan}^{-1} \frac{8 * f_{\theta,3} * L}{L^2 * 2}$$

$$S_3 = \frac{H_3}{\text{Cos } \alpha_3}$$

$$\Delta L_{S,3} = \frac{S_3 * L_{L+\Delta L_{\theta}}}{E_{\alpha,\theta} * A}$$

$$\Delta L_3 = \Delta L_{\theta} + \Delta L_{S,3}$$

Ensimmäisellä kierroksella taipuman kaavassa ΔL on lämpöpitenevä.

Seuraavilla kierroksilla taipuman kaavassa ΔL on lämpöpitenevä ΔL_{θ} + Köysivoiman S venymä ΔL_S .

Köysivoiman aiheuttaman venymän ΔL_S kaavassa $L_{L+\Delta L_{\theta}}$ on jänneväli L + lämpöpitenevä ΔL_{θ}

Uusi kierros aloitetaan sijoittamalla punaisella värillä merkitty kokonaispituudenmuutos takaisin taipuman kaavaan ja lasketaan kaikki uudelleen. Mitään muuta ei oteta edelliseltä kierrokselta uudelle laskentakierrokselle. Kaavoihin ei muuteta mitään muuta, kuin ne sinisellä värillä merkityt arvot, jotka uudelleen laskemisen seurauksesta muuttuvat.

Jokaisen kierroksen lopussa tulee verrata tuloksia edellisen kierroksen tuloksiin. Tulosten kierrättäminen voidaan lopettaa siinä vaiheessa, kun huomataan, etteivät tulokset enää oleellisesti eroa edellisen kierroksen tuloksista. Siinä vaiheessa on tavoitettu tuloksille haluttu tarkkuus ja voidaan iterointi lopettaa.

Viimeiseltä iterointikierrokselta saatavilta köysivoiman S ja vaakavoiman H arvoilla voidaan mitoittaa kiinnikkeet, tarkistaa poimulevyn vetokestävyys ja mitoittaa tuuliristikot sekä reunaprofiilit.