



Tekla Structures -aukonylitys- palkki-työkalun kehittämisohje

Kimmo Ojanen

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2021

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Talorakennustekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Talonrakennustekniikka

OJANEN, KIMMO:

Tekla Structures -aukonylityspalkki-työkalun kehittämisohje

Opinnäytetyö 53 sivua, joista liitteitä 10 sivua
Huhtikuu 2021

Tämä opinnäytetyö tilattiin Sweco Rakennetekniikka Oy:n toimesta. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä ohje Swecon IT-yksikölle Tekla Structures-aukonylityspalkkityökalun kehittämiseen. Opinnäytetyössä laadittiin samalla Excel-laskentapohja, jolla Tekla Structures -työkalu mitoittaa aukonylityspalkit. Suunnittelijat voivat käyttää Excel-laskentapohjaa myös itsenäisenä työkaluna. Opinnäytetyön tavoitteena oli, että työkalun avulla suunnitteluprosessi nopeutuu ja mitoituksen kustannustehokkuus nousee.

Lopputuloksena laadittiin Tekla Structures -työkaluohje, jolla työkalu voidaan toteuttaa, sekä Excel-laskentapohja, joka auttaa aukonylityspalkin mitoittamista. Laskentapohja mitoittaa palkin trapetsikuorman ja tasaisen kuorman kiepahduskestävyyden, leikkauskestävyyden, taipuman ja poikkileikkaustekijän sekä kriittisen lämpötilan. Pielet laskentapohja mitoittaa puristuskestävyydelle.

Ohje helpottaa Swecon IT-yksikköä työkalun laatimisessa ja laskentapohja nopeuttaa rakennesuunnittelijan työtä. Jatkokehittämissuunniteluksena laskentapohjaan voisi lisätä esimerkiksi teräsputkiprofiilikirjaston, jota voisi käyttää aukonylityspalkin ja teräspieltä mitoituksen laskennassa. Tämän lisäksi työkaluun voisi lisäksi kehittää teräsbetonisen aukonylityspalkin sekä pieliä kestävyyden tarkastelun.

ABSTRACT

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

OJANEN, KIMMO

The Development Guide for the Tekla Structures Gap Crossing Bar Tool

Bachelor's thesis 53 pages, appendices 10 pages
April 2021

This thesis was commissioned by Sweco Rakennetekniikka Oy. The purpose of the thesis was to provide guidance to the IT Unit of Sweco for the development of the Tekla gap crossing beam tool. At the same time, an Excel calculation base was prepared in the thesis with which the Tekla Structures tool measures dimension crossing beams. Designers also use the Excel spreadsheet as a standalone tool. The aim of the thesis was to speed up the design process of the tool and to increase the cost efficiency of dimensioning.

The result was a tool guide for Tekla Structures that can be used to implement the tool, as well as an Excel calculation template to help dimension the gap crossing bar. The calculation base measures the torsional load, the shear strength, the deflection and the cross-sectional factor, and the critical temperature of the trapezoidal load and the uniform load of the beam. The calculation of sides is dimensioned for compressive strength.

The guide facilitates the IT Unit of Sweco in creating the tool, and the calculation base speeds up the work of the structural designer. As a further development proposal, a steel pipe profile library, for example, could be added to the calculation base, which could be used in the calculation of the dimensioning of the gap crossing beam and steel spikes. In addition to this, the tool could also be developed with a reinforced concrete opening beam as well as an examination of the durability of the joists.

Key words: crossing beam, steel beam, concrete beam, brick side, Tekla Structures- aperture beam tool

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	MATERIAALIT	6
	2.1 Rakenneteräs.....	6
	2.1.1 Lujuusluokan valinta	6
	2.1.2 Teräksen aineominaisuudet.....	7
	2.1.3 Poikkileikkausluokat	7
	2.2 Betonirakenteiden käyttö Suomessa.....	8
	2.3 Tiili.....	9
	2.3.1 Tiilirakenteiden käyttö Suomessa.....	9
	2.3.2 Tiiliseinän puristuslujuuden mitoitussarvo eri vuosikymmeninä	10
3	MITOITUS.....	13
	3.1 Rajatilamitoitus.....	13
	3.1.1 Murtorajatilan kuormitusyhdistelmät	13
	3.1.2 Käyttörajatilan kuormitusyhdistelmä	14
	3.1.3 Palotilanteen kuormitusyhdistelmät	15
	3.2 Aukonylityspalkin mitoitus	16
	3.2.1 Kuormitukset.....	16
	3.2.2 Leikkauskestävyys.....	18
	3.2.3 Kiepahduskestävyys.....	20
	3.2.4 Taivutuskestävyys	24
	3.2.5 Palomitoitus	24
	3.2.6 Taipuma	26
	3.3 Pielien mitoitus	27
	3.3.1 Betonipielet.....	27
	3.3.2 Muuratut pielet.....	32
	3.3.3 Pieliteräkset.....	33
4	AUKONYLITYSPALKIN TOTEUTUS TYÖMAALLA	35
	4.1 Purkutyöt.....	35
	4.2 Työn toteutus	35
5	TYÖKALUOHJEEN TEKO	37
6	LASKENNAN KULKU	38
7	POHDINTA	40
	LÄHTEET.....	42
	LIITTEET.....	44
	Liite 1. Ohje aukonylityspalkki-työkalulle.....	44

1 JOHDANTO

Yleinen kehitys ja elämäntapojen muutokset yhteiskunnassa luovat painetta rakennusten toiminnalliselle muutokselle. Tämä tarkoittaa osin uuden tekniikan sijoittamista vanhoihin rakennuksiin, jotta käyttömukavuus ja energiataloudellisuus paransivat. Toisaalta tilantarpeiden muutokset ovat yleisiä syitä korjausrakentamiselle esimerkiksi käyttäjän vaihtuessa. (Laiho 1988, 30.) Näiden muutosten takia vanhojen rakennusten uudistaminen on ollut ajankohtaista jo pitkään. Tämä opinnäytetyö toteutettiin yhteistyössä Sweco Rakennetekniikka Oy:n kanssa. Eri-tyisesti korjausrakennuskohteissa aukonylityspalkkien profiilikokojen selvittäminen on yleistä, kun vanhoja seiniä puhkaistaan, sekä palkkien koot saattavat muuttua hankkeen etenemisen myötä.

Opinnäytetyön aihe tuli tilaajan tarpeesta. Tarkoituksena oli tehdä ohje Swecon IT-yksikölle Tekla Structures -aukonylityspalkkityökalun kehittämiseen. Opinnäytetyössä laadittiin samalla Excel-laskentapohja, jolla Tekla Structures -työkalu mitoittaa aukonylityspalkit. Laskennassa aukonylityspalkki voi olla yksiaukkoinen, maksimissaan neljän metrin pituinen teräksinen IPE- tai HE-profiilipalkki. Pielen materiaali voi olla betonia tai tiiltä. Opinnäytetyön tavoitteena oli, että työkalun avulla suunnitteluprosessi nopeutuisi ja mitoituksen kustannustehokkuus nousisi. Excel-laskentapohjaa ei tulla julkaisemaan tässä opinnäytetyössä liikesalaisuuksiin vedoten.

Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin rakenneterästen, betonin ja tiilen materiaaliominaisuuksiin sekä niiden käyttöön Suomen rakennuskulttuurissa. Mitoituksessa tarkasteltiin teräspilarien ja -palkkien sekä tiili- ja betonipieliä kestävyyden mitoitusta.

2 MATERIAALIT

2.1 Rakenneteräs

Rakenneteräkset voidaan jakaa kahteen eri ryhmään, kuumavalssattuihin ja kylmämuovattuihin teräksiin. Kuumavalssattuja tuotteita ovat levyt, nauhat, muototangot sekä profiilit, ja niitä käytetään kantaviin rakenteisiin. Kylmämuovattuihin kuuluvat muotolevyt, sauvat ja kasetit ja niitä käytetään lähinnä sekundäärirakenteisiin. Teräksen helpon muovattavuuden vuoksi standardoituja kuumavalssattuja teräsprofiileja on lukuisia. Yleisimpiä näistä on muototangot, rakenneputket ja profiiliteräkset. Kapealaippaisista symmetrisistä profiileista yleisin on IPE, kun taas leveälaippaisista HE-profiilit ovat yleisimpiä. HE-profiilit ovat ulkomitoiltaan lähes samankokoisia, mutta niiden rakennevahvuudet vaihtelevat. Profiilien järjestys kevyimmästä raskaimpaan on HEA, HEB ja HEM. Profiilien jäyhyysmomentit ja taivutusvastukset kulkevat samassa suhteessa painon kanssa. (Papula 2020, 34 – 36.)

2.1.1 Lujuusluokan valinta

Kuumavalssatut seostamattomat ja hienoraerakenneteräkset soveltuvat parhaiten kantaviin rakenteisiin. Teräksen valintaan vaikuttavat hinta, ympäristöolosuhteet, vaadittu muovattavuus ja saatavuus. Nostamalla rakenteen myötörajaa materiaalimenekki pienenee. Samalla rakennetta tukevien rakenteiden kuormitus pienenee, sillä rakenteessa voidaan käyttää pienempiä ja kevyempiä profiilikokoja. Kuitenkaan aina profiilien pienentämisestä ei ole suurta hyötyä, sillä taivutetuissa rakenteissa profiilin pienentäminen kasvattaa taipumaa ja lisää kiepahdusvaaraa, kun taas puristetuissa rakenteissa nurjahduksen ja lommahduksen riskit kasvavat. (Mela 2020, 44.)

Hienoraerakenneteräksissä lujuus saavutetaan mikroseosaineiden avulla. Seosaineiden aikaansaama raerakenteiden hienous nostaa rakenneterästen myötölu-

juutta, ja lisää sen iskusitkeyttä. Seosaineiden pitoisuudet ovat erittäin pieniä, joten ne eivät vaikuta teräksen hitsattavuuteen olennaisesti. Yleisimmin käytetyt seosaineet ovat alumiini, titaani, niobi ja vanadiini. (Nevalainen 1988, 57.)

2.1.2 Teräksen aineominaisuudet

Mitoituksessa käytetään useita eri materiaaliparametreja, joista murtolujuus f_y ja vetomurtolujuus f_u ovat useimmiten käytettyjä. Rakenneteräksiä mitoitettaessa käytettävät materiaalivakiot on listattu taulukossa 1:

TAULUKKO 1. SFS-EN 1993-1-1 standardin materiaalivakiot

Kimmokerroin	E	$210000 \frac{N}{mm^2}$
Liukukerroin	$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$	$81000 \frac{N}{mm^2}$
Poisonin luku	ν	0,3
Lineaarinen lämpölaajenemiskerroin	α	$12 \cdot 10^{-6} / ^\circ C$
Tiheys	ρ	$7850 \frac{kg}{m^3}$

2.1.3 Poikkileikkausluokat

Rakenneanalyysia tehtäessä ei ajatella rakenteen muotoa, vaan rakenne kuvitellaan viivamaisena. Laskennassa käytetään kuitenkin kullekin profiilille yksilöllisiä neliömomenteja ja poikkipinta-alasuureita. Hoikat osat eri poikkileikkauksissa aiheuttavat sen, että toiset poikkileikkaukset ovat alttiimpia taivutuksen aiheuttamalle lommahdukselle kuin toiset. Näin ollen rakenneosien kyky saavuttaa täysi puristus- tai taivutuskestävyys saattaa heikentyä. Jotta poikkileikkausten stabiili-teetti-ilmiöiden käsitteleminen olisi helpompaa, on ne jaettu standardissa SFS-EN-1-1 neljään eri luokkaan. Luokitus vaikuttaa rakennetta mitoittaessa. Luokan 1 ja 2 poikkileikkaukset voidaan mitoittaa plastisuusteorian mukaisesti, kun taas luokan 3 ja 4 poikkileikkaukset mitoitetaan kimmoteoriaa käyttäen. Valtaosa HE-

ja IPE-profiileista kuuluu poikkileikkausluokkiin 1 ja 2 niiden laippojen ja uumien hoikkuuden vuoksi. (Mela 2020, 67–69.)

Poikkileikkausluokan 1 sauvoja mitoittaessa katsotaan rakenteen muuttuvan mekanismiksi, sillä niiden puristetut osat plastisoituvat täysin taivutuksessa, ja niiden kiertymiskyky on riittävä. Kiertymiskykyä ei vaadita kuitenkaan mekanismin viimeiseltä osalta, ja näin ollen sille sovelletaan poikkileikkausluokan 2 ehtoja. Myös poikkileikkausluokan 2 sauvojen puristetut osat katsotaan plastisoituvan, mutta niiden kiertymiskyky on rajoitettu. Tästä syystä poikkileikkausluokan 2 sauva ei voi muodostaa mekanismia. Sitä ei myöskään muodostu poikkileikkausluokan 3 sauvoissa. Kun poikkileikkausluokan 3 sauva puristetaan, se voi saavuttaa plastisuusteorian mukaisen taivutuskestävyyden rasiuimmassa kohdassa. Poikkileikkausluokassa 4 tätä ei tapahdu, sillä sauvojen osat pääsevät lommahtamaan ennen plastisuusteorian mukaisen taivutuskestävyyden saavuttamista. (Kouhi 1988, 103.)

2.2 Betonirakenteiden käyttö Suomessa

1900-luvun alkupuolella betonin käyttö asuinkerrostalojen pystyrakenteissa rajoittui sementtitiiliin. Ne olivat betonista valmistettuja yhdellä tai useammalla ontelolla varustettuja tiiliä. Niiden käyttö jäi kuitenkin hyvin vähäiseksi, vain muutamia asuin- ja liiketiloja rakennettiin sementtitiilistä Helsinkiin ja Turkuun. (Neuvonen, Mäkiö & Malinen 2002, 71.)

Betoni yleistyi 1920-luvun loppupuolella vaakarakenteissa. Betonirakenteiden lujuusominaisuuksissa oli tuolloin suurta hajontaa tiedon- ja viranomaisvalvonnan puutteen vuoksi. Kun betonirakentamisen tietoisuutta lisättiin betoniyhdistyksen kursseilla ja betoninormit uudistettiin, sen laatu parani ja käyttö lisääntyi huomattavasti 1930-luvun loppuun mennessä. 1940-luvun loppupuolella alettiin käyttämään välipohjissa ristiin raudoitettua massiivilaattaa, jota kantoivat tiheään sijoitetut, noin 150 mm paksuiset betoniseinät. Tähän asti vain tiiliseinää oli käytetty kantavana pystyrakenteena. Betoniseinät alkoivat vähitellen syrjäyttää 1950-luvulla tiilirakenteita, sillä niille sallittiin noin kaksinkertainen puristusjäännityksen

arvo poltettuun tiileen verrattuna. Varsinkin teollisessa rakentamisessa jännevälilien ollessa suuria oli edullisempaa siirtää suuret puristuskuormat betonin välityksellä perustuksille. (Berghäll 1988, 90.)

Berghällin (1988, 90–92) mukaan 1960-luvulla elementtirakentaminen yleistyi suuresti. Elementit tehtiin tehtaissa ja toimitettiin työmaalle. Tekniikalla pyrittiin vähentämään työmaalla tapahtunutta työtä. Elementtirakennuksista tuli paikalla valettuihin rakennuksiin verraten huomattavasti heikompia, sillä niiden liitosten suunnittelu- ja mitoitusohjeiden puutos teki laadusta vaihtelevaa.

Vuonna 1974 julkaistiin BES-selvitys, joka loi pohjan nykyiselle betonielementtirakentamiselle. Sen avulla myös liitosten suunnittelukäytännöt saatiin vakiinnutettua ja rakennusten stabiliteetti otettiin paremmin huomioon suunnittelussa. (Berghäll 1988, 90–92.)

2.3 Tiili

2.3.1 Tiilirakenteiden käyttö Suomessa

Suomen vanhimmat savitiilirakenteet ovat peräisin 1200-luvun lopulta. Tällöin savitiilien valmistus toteutettiin työmaan läheisyyteen rakennetuissa tiilenpolttopisteissä. Vasta 1800-luvun loppupuolella Etelä-Suomessa alettiin tuottaa teollisesti tiiliä tiilitehtaissa. Tällöin tiilikoot olivat tehdaskohtaisia, vaikka Arkkitehtiklubi oli ehdottanut jo vuonna 1897 standardikooksi 75 x 130 x 270 mm. Koko vakiintui vasta ensimmäisen maailmansodan jälkeisinä vuosina. (Teppo 1988, 50.)

Kalkkiahiekkatiili tuli 1800-luvun loppupuolella käyttöön myös Suomessa. Se oli poltettua tiiltä mittatarkempaa, säännöllisempää ja halvempaa, mutta lämmöneristävyydeltään ja puristuslujuudeltaan heikompaa: vain 94 kg/cm². Sitä käytettiin pääasiassa väliseinien muuraukseen, lukuun ottamatta pula-aikaa 1920-luvulla, jolloin kalkkiahiekkatiilillä pyrittiin korvaamaan perinteistä punatiiltä. Sen käyttöä kuitenkin rajoitettiin ulkoseinissä ja kantavissa rakenteissa Helsingin rakennustarkastuskonttorin toimesta 1920-luvun puolivälissä. Vasta 1940-luvulla markkinoille tuli saksalaisvalmisteinen KA-HI-tiili, jonka viranomaiset hyväksyivät samaan käyttötarkoitukseen poltetun tiilen kanssa. (Neuvonen ym. 2002, 66.)

Reikätiiltä alettiin käyttää 1930-luvulla ulkoseinissä. Tiilessä olevat 8 mm x 8 mm reiät helpottivat tiilen polttoa. Ne olivat kuitenkin niin pieniä, ettei muuratessa laasti pääsyt tukkimaan niitä. Tämä paransi tiilen lämmöneristyskykyä kolmanneksella, eli tiiliseiniä pystyttiin kaventamaan kahden kiven seinästä puolentoista kiven seinään, ja säilyttämään sama lämmöneristyskapasiteetti. (Neuvonen ym. 2002, 71.)

Tiilen polttoaste vaikuttaa tiilen puristuslujuuteen, tilavuuspainoon sekä lämmöneristyskykyyn. Useimmiten tiilen lämmöneristyskapasiteetti kulkee sen painon suhteessa: mitä painavampi tiili on, sitä heikompi on sen lämmöneristyskyky. Vähiten poltetut vaaleanpunaiset tiilet olivat yleensä heikoimpia, kun taas kestävimpiä tiiliä olivat rautapalaneet ja tummaksi poltetut tiilet. Näitä tiiliä käytettiin korkeaa puristuslujuutta vaativissa kohdissa. Kun tiileen haluttiin saada lisää lämmöneristyskapasiteettia, tiilimassaan lisättiin erilaisia orgaanisia materiaaleja ennen polttoa, esimerkiksi sahanpurua. Näin tiilestä tuli huokoisempi ja sen lämmöneristyskyky parani. Näitä tiiliä kutsuttiin hohkotiiliksi. Hohkotiiliä käytettiin pääsääntöisesti ulkoseinien lämmöneristyskerroksissa ja väliseinissä. (Neuvonen ym. 2002, 65.)

2.3.2 Tiiliseinän puristuslujuuden mitoitusarvo eri vuosikymmeninä

Tiiliseinän puristuslujuus on muuttunut materiaalien kehityksen myötä. Tiiliseinän mitoittamiseen vaikuttavat niin tiilen kuin laastinkin materiaaliominaisuudet. Materiaalinormit vaihtelevat aikakauden mukaan.

Vuonna 1932 tulleen sisäministeriön määräyksen myötä tiilet jaettiin kolmeen eri luokkaan. Niiden puristuslujuus mitattiin kymmenen kappaleen koepuristuskoeksessa, josta huonoimman tiilen puristuslujuuden tuli ylittää tietty raja-arvo. Luokat ja niiden puristuslujuudet olivat: kovaksi poltetut tiilet 23 N/mm², normaalit tiilet 17,5 N/mm² ja toisen luokan tiilet 12,5 N/mm². Samassa standardissa kalkkilaastin puristuslujuudeksi määriteltiin 0,6 N/mm² ja sementinsekaiselle kalkkilaastille puristuslujuuden arvona käytettiin 5,0 N/mm². (Mäkiö 2016, 211.)

Vuonna 1952 tullut määräys korvasi edellisen vuoden 1932 määräyksen. Tässä tiilet ja niiden puristuslujuudet luokiteltiin niiden painon perusteella. Laastien jaotteluperiaate pysyi samana, mutta kalkkisementtillaasteille annettiin puristuslujuuden arvot sementin, kalkin ja hiekan sekoitussuhteen mukaan. (Mäkiö 2016, 211–212.) Taulukoissa 2 ja 3 on esitetty tiilen ja laastien puristuslujuudet vuoden 1952 määräysten mukaisesti.

TAULUKKO 2. Tiilien puristuslujuudet vuoden 1952 määräyksen mukaan

	(Tiheys kg/dm ³)	Puristuslujuus (N/mm ²)
Raskaat tiilet	≥1,61	17,5
Puoliraskaat tiilet	1,41–1,60	15,0
Kevyet tiilet	1,21–1,40	11,0
Hohkotiilet	≤1,20	4,5

TAULUKKO 3. Laastien puristuslujuudet vuoden 1952 määräyksen mukaan

Laasti / sekoitusuhde (s: k: h)	Puristuslujuus (N/mm ²)
Kalkkilaasti / 0:1:3	0,6
Kalkkisementtillaasti N:o 3 / 1:3:12	1,0
Kalkkisementtillaasti N:o 2 / 1:2:9	2,0
Kalkkisementtillaasti N:o 1 / 1:1:6	5,0

Vuoden 1988 Suomen rakentamismääräyskokoelman ehdotuksen mukaisesti poltetulla tiilellä puristuslujuus vaihtelee välillä 5–55 N/mm². Taivutuslujuus on 6 N/mm² ja kimmokertoimena käytetään 16 000 N/mm² arvoa. Laasteilla puristuslujuuksien arvoina käytetään 2,5–15 N/mm² arvoja. Taulukossa 4 on listattu rakenteen puristuslujuuden arvot tiilen ja laastin yhteisvaikutuksesta, kun käytetään kalkkisementti-, sementti- tai muurausmenttipohjaisia laasteja. (Höytylä & Vanttinen 1988, 42.)

TAULUKKO 4. Tiilikivistä ja kalkkihiekkakivistä muuratun rakenteen ominaisvaatimukset

Muurauskivien lujuusluokka (N/mm ²)	Rakenteiden lujuus (N/mm ²) kun laastin rakenneluokka on			
	15	10	5	2,5
5	3,0	3,0	2,5	2,0
15	6,0	5,5	4,5	4,0
25	9,0	8,0	6,5	5,5
35	11,5	10,0	8,0	6,5
45	13,5	11,5	9,0	7,0
55	14,5	12,5	9,5	7,0

3 MITOITUS

Tässä työssä aukonylityspalkilla tarkoitetaan yksiaukkoista palkkia, joka asennetaan jo olemassa olevan seinän uuden aukon päälle. Seinä voi olla betonia tai tiiltä. Aukonylityspalkki on kuumavalssattu rakenneteräs IPE- tai HE-teräsprofiili, ja sillä siirretään aukon päältä tulevat kuormat viereisille pielille. Pielet tuetaan UPE-teräsprofiililla, jos pielen puristuskestävyys ylittyy.

3.1 Rajatilamitoitus

Rakenteet mitoitetaan eurokoodeissa rajatilamenetelmällä. Sillä tarkoitetaan tilannetta, jossa rakenteen kuormituksen ylittäessä tietyn rajan, sille suunnitellut toimivuusvaatimukset eivät enää täyty. Nämä rajatilat on nimetty Eurokoodeissa murto- ja käyttörajatilaksi. Murtorajatilassa tarkastellaan rakenteen tai sen osan kestävyyttä tilanteessa, jossa vaurioitumistapana on sortuminen tai muu vastaava tilanne. Käyttörajatilassa tarkastellaan rakennetta tai rakenneosaa normaalikäytössä. Sen ylittämisen jälkeen käyttökelpoisuusvaatimukset eivät enää täyty. (Mela 2020, 52.) Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että käyttörajatilan ylitettäessä rakenne sortuisi, vaan se voi aiheuttaa erilaisia haittoja käyttömukavuudelle, rakenteen toimivuudelle tai ulkonäölle. Nämä haitat syntyvät siirtymistä, vaurioista sekä värähtelyistä, joita käyttörajatilassa tarkastellaan. (BY211 2015, 18.)

3.1.1 Murtorajatilan kuormitusyhdistelmät

Murtorajatilassa verrataan rakenteen kuormituksista syntyviä rasituksia rakenteen kestävyyteen. Tarkastelu tehdään jokaisessa määräävässä kuormitustapauksessa, sekä niiden kuormitustapauksien summana, joiden katsotaan vaikuttavan samanaikaisesti. (Mela 2020, 54.)

Murtorajatilamitoituksessa käytetään kuormitusyhdistelmiä, joissa kuormat kerrotaan yhdistelmäkertoimilla SFS-EN 1990 Suomen kansallisen liitteen A1 mukaan. Kuormitusyhdistelmistä valitaan rakenteeseen nähden epäedullisin kuormitustapaus. Kun tutkitaan rakennusosan tai rakenteen staattista tasapainoa, käytetään kuormitusyhdistelmiä, jotka ovat esitetty kaavoissa 1 ja 2.

$$1,15K_{FI} \left. \vphantom{\sum_{i>1}} \right\} \sum_{i>1} G_{kj} + \gamma_P P + 1,5K_{FI} Q_{k,1} + 1,5K_{FI} \sum_{i>1} \psi_{0,1} Q_{k,i} \quad (1)$$

kuitenkin vähintään,

$$1,35K_{FI} \left. \vphantom{\sum_{i>1}} \right\} \sum_{i>1} G_{kj} \quad (2)$$

jossa G_{kj} on pysyvän kuorman ominaisarvo
 $Q_{k,1}$ on määrävän muuttuvan kuorman ominaisarvo
 $Q_{k,i}$ on määrävän kuorman kanssa samanaikaisen kuorman ominaisarvo
 P on esijännitysvoima
 K_{FI} on seuraamusluokasta riippuva kuormakerroin
 γ_P on esijännitysvoiman osavarmuuskerroin
 $\psi_{0,1}$ on yhdistelmäkerroimen arvo

Seuraamusluokka määräytyy murtorajatilassa sen mukaan, kuinka suuret taloudelliset ja ihmishenkien menetykset sekä sosiaaliset tai ympäristövahingot aiheutuisivat onnettomuustilanteen sattuessa. Vakavimmat seuraukset kuuluvat luokkaan CC3, jonka K_{FI} kerroin on 1,1. Tällaisia rakennuksia ovat esimerkiksi konserttitalot tai muut vastaavat rakennukset sekä yli 8-kerroksiset asuinkerrostalot, joissa oleilee suuria väkijoukkoja samanaikaisesti. Vähäisten seurausten luokan CC1 K_{FI} kerroin on 0,9. Tämän luokan rakennuksissa oleskelee harvemmin ihmisiä. Vähäisen seuraamusluokan rakennuksia ovat pääsääntöisesti maa- ja metsätalousrakennukset. Keskisuurten vahinkojen seuraamusluokan CC2 K_{FI} kerroin on 1,0. Tähän luokkaan kuuluu asuin- ja liikerakennukset. Seuraamusluokat on määritelty SFS-EN 1990 Suomen kansallisen liitteen B osassa. (Sumkin 2017, 39–42.)

3.1.2 Käyttörajatilan kuormitusyhdistelmä

Käyttörajatilassa tarkastellaan rakenteen muodonmuutoksia sitä normaalisti kuormittavilla kuormilla. Kuormista syntyvät muodonmuutokset eivät saa haitata

rakenteen toimivuutta tai lyhentää sen käyttöikä. Käyttörajan kuormitusyhdistelmät valitaan kullekin rakenneosalle sopivaksi niiden käyttökelpoisuuden ja toiminnallisuuden kannalta. Palkin taipumaa tarkasteltaessa käytetään kuormitusyhdistelmän kaavaa 3.

$$\sum_{j>1} G_{kj} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{2,j} Q_{k,i} \quad (3)$$

jossa G_{kj} on pysyvän kuorman ominaisarvo
 $Q_{k,1}$ on määrävän muuttuvan kuorman ominaisarvo
 $Q_{k,i}$ on määrävän kuorman kanssa samanaikaisen kuorman ominaisarvo
 P on esijännitysvoima
 K_{FI} on seuraamusluokasta riippuva kuormakerroin
 $\psi_{1,1}$ ja $\psi_{2,1}$ ovat yhdistelmäkertoimien arvot
 (Sumkin 2017, 44.)

3.1.3 Palotilanteen kuormitusyhdistelmät

Palotilanteen kuormia laskettaessa on kaksi vaihtoehtoa, kuinka kuormat määritetään. Ensimmäinen vaihtoehto on käyttää SFS-EN 1990 esitettyä onnettomuustilanteen kuormitusyhdistelmän kaavaa 4. Tässä yhdistelmässä rakenteen onnettomuuskuorma A_d määritetään tapauskohtaisesti, ja muuttuvan kuorman yhdistelykerroin määräytyy määrävästä muuttuvasta kuormasta. Jos määrävänä muuttuvana kuormana on lumi tai tuuli, käytetään yhdistelykertoimena $\psi_{1,1}$, muutoin käytetään kerrointa $\psi_{2,1}$.

$$\sum_{j>1} G_{kj} + A_d + (\psi_{1,1} \text{ tai } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + 1,5 K_{FI} \sum_{i>1} \psi_{2,i} Q_{k,j} \quad (4)$$

jossa G_{kj} on pysyvän kuorman ominaisarvo
 $Q_{k,1}$ on määrävän muuttuvan kuorman ominaisarvo
 $Q_{k,i}$ on määrävän kuorman kanssa samanaikaisen kuorman ominaisarvo
 A_d on onnettomuuskuorman mitoitusarvo

K_{FI} on seuraamusluokasta riippuva kuormakerroin
 $\psi_{1,1}$ ja $\psi_{2,1}$ ovat yhdistelykertoimien arvot

Toinen vaihtoehto on määrittää palotilanteen rasitukset kuormastandardin SFS-EN 1993-1-2 yksinkertaistetulla kaavalla, jossa rakenteiden pysyvät kuormat palon aikana pysyvät vakioina. Tämä lasketaan kaavalla 5.

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} E_d \quad (5)$$

jossa E_d on palkkia mitoitettaessa taivutusmomentin mitoitussarvo normaalilämpötilassa
 η_{fi} on mitoituskuorman pienennystekijä, joka lasketaan kaavalla 6

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\xi \gamma_{MG} G_k + \gamma_{MQ,1} Q_{k,1}} \quad (6)$$

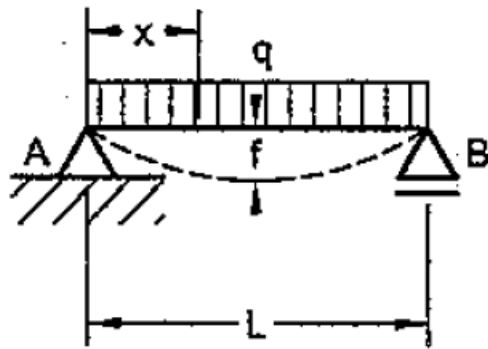
jossa $\gamma_{MQ,1}$ on muuttuvien kuormien osavarmuuskerroin
 γ_{MG} on pysyvien kuormien osavarmuuskerroin
 ψ_{fi} on yhdistelmäkerroimen arvo joko $\psi_{1,1}$ tai $\psi_{2,1}$ kuormituksen mukaan
 ξ on 0,85
 (Malaska 2020, 222–223.)

3.2 Aukonylityspalkin mitoitus

3.2.1 Kuormitukset

Palkkirakenteisiin kohdistuvat kuormat ovat pääakselilla taivutusta ja leikkausta. Palkin kiepahduksen mahdollisuus on otettava huomioon, jos palkkia ei ole tuettu heikommassa suunnassa. Käyttörajatilassa taipuma on usein määräävä tekijä. Helpoin tapa pienentää taipumaa on kasvattaa profiilin korkeutta tai esitaivuttaa palkki. (Mela 2020, 109–111.)

Tekla-työkalussa palkkia voi kuormittaa kahdella eri tavalla. Todellisuudessa palkille voi tulla lukemattomia erilaisia kuormituksia. Työkalun käyttäjän tehtävä on



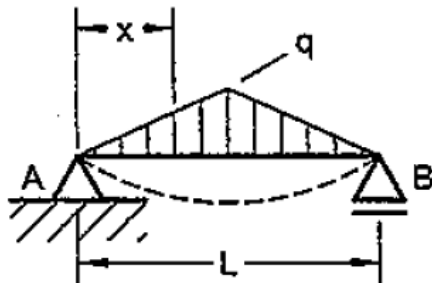
$$A = B = \frac{qL}{2}$$

$$M(x) = \frac{qLx}{2} \left(1 - \frac{x}{L}\right)$$

$$M_{\max} = \frac{qL^2}{8}$$

$$f = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI}$$

KUVA 2. Tasainen kuormitus



$$A = B = \frac{qL}{4}$$

$$M(x) = \frac{qLx}{2} \left(\frac{1}{2} - \frac{2x^2}{3L^2}\right)$$

$$M_{\max} = \frac{qL^2}{12}$$

$$f = \frac{1}{120} \frac{qL^4}{EI}$$

KUVA 3. Trapetsikuormitus

3.2.2 Leikkauskestävyys

Leikkauskestävyys lasketaan plastisuusteorian mukaisesti poikkileikkausluokissa yksi ja kaksi. Plastisuusteoriassa leikkauskestävyys lasketaan kaavalla 8, jossa leikkauspinta-ala A_v valssatuille I- ja H- profiileille lasketaan kaavalla 9 ja mitoitusehto on esitetty kaavassa (7)

$$V_{Ed} \leq V_{C,Rd} \quad (7)$$

jossa V_{Ed} on poikkileikkausta rasittava voima

$V_{C,Rd}$ on poikkileikkauksen leikkauskestävyys

$$V_{C,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v(f_y\sqrt{3})}{\gamma_{M0}} \quad (8)$$

$$A_v = \max(A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + r) \cdot t_f; \eta \cdot h_w \cdot t_w) \quad (9)$$

jossa A on poikkileikkauksen pinta-ala
 h_w on uuman vapaaväli
 t_w on uuman paksuus
 t_f on laipan paksuus
 b on laipan leveys
 r on valssauksen nurkan pyöristys
 f_y on teräksen myötölujuus
 γ_{M0} on teräksen osavarmuuskerroin
 $\eta = 1$ kun, $f_y < 460MPa$
 (Kangaspuoskari 2020, 85.)

Kimmenteorian mukaista leikkauskestävyyttä käytetään poikkileikkausluokassa kolme, jossa vääntömomentin mitoitusarvoa jaetaan korotetulle myötölujuuden arvolle kaavalla 10.

$$\frac{\tau_{Ed}}{f_y/\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \leq 1 \quad (10)$$

jossa f_y on teräksen myötölujuus
 γ_{M0} on teräksen osavarmuuskerroin
 τ_{Ed} on vääntömomentin mitoitusarvo, joka voidaan laskea I- ja H-valssatuille profiileille kaavalla 11

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w} \text{ kun } \frac{A_f}{A_w} \geq 0,6 \quad (11)$$

jossa V_{Ed} on poikkileikkausta rasittava leikkausvoima
 A_w on uuman pinta-ala
 A_f on laipan pinta-ala

(SFS-1993-1-1, 55.)

Laskelmissa käytetään vain profiileja, jotka täyttävät kaavan 11 ehdon ja on korkeintaan poikkileikkausluokkaa 3.

3.2.3 Kiepahduskestävyys

Kiepahduksella tarkoitetaan ilmiötä, jossa rakenneosa menettää stabiilisuutensa ja siirtyy sivulle eli kiepahtaa. Tämä johtuu taivutusmomentin aiheuttamasta taivutuspuristusjäännityksestä. I-poikkileikkauksissa tämä tapahtuu puristettuun laippaan ja uuman yläosaan. (RAKSU 2016.)

Kiepahdustarkastelua ei tarvitse tehdä seuraavissa tapauksissa: rakenneosa on joko pyöreän tai neliön muotoinen hitsattu poikkileikkaus, rakenneosa on riittäväällä tavalla kiepahdustuettu, tai rakenneosa on pyöreän tai neliön muotoinen rakenneputki. Kiepahdustarkastelu täytyy kuitenkin suorittaa, jos kyseessä on valsattu tai jokin muu vastaava hitsattu profiili. Eurokoodin luvussa 3.6.2.3 käsitellään valssattujen ja vastaavien sauvojen kiepahduskestävyyttä. (Mela 2020, 100.)

Vahvempaan suuntaan tukemattomien sauvojen mitoitusehto on esitetty kaavassa 12.

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad (12)$$

jossa M_{Ed} on taivutusmomentin rasisus
 $M_{b,Rd}$ on kiepahduskestävyyden mitoitusarvo.

Kiepahduskestävyyden mitoitusarvo sivusuunnasta tukemattomille sauvoille lasketaan kaavalla 13.

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{f_y W_y}{\gamma_{M1}}, \quad (13)$$

jossa W_y on poikkileikkausluokissa 1 ja 2 W_{pl} , poikkileikkausluokassa 3 $W_{el,min}$ ja luokassa 4 $W_{eff,min}$. χ_{LT} on kiepahduksen pienennystekijä. Pienennystekijä voidaan laskea kuumavalssatuille I- ja H-profiileille kahdella eri tapaa; joko Eurokoodin kaavalla 6.56 tai yhtälöä 14 käyttäen. Yhtälön käyttö on sallittua, jos käyttää Suomen kansallisen liitteen parametreja sekä kiepahduskäyrän valinnassa valintataulukkoa 3.8. Valssatuille kaksoissymmetrisille I- ja H-profiileille parametrit ovat $\lambda_{LT,0} = 0,4$ ja $\beta = 1$.

$$\chi_{LT} = \min \left(\frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \lambda_{LT}^2}} ; 1,0 ; \frac{1}{\lambda_{LT}^2} \right) \quad (14)$$

jossa Φ_{LT} lasketaan kaavalla 15
 λ_{LT} lasketaan kaavalla 16.

$$\Phi_{LT} = 0,5(1 + \alpha_{LT}(\lambda_{LT} - \lambda_{LT,0})) + \beta \lambda_{LT}^2 \quad (15)$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{f_y W_y}{M_{cr}}} \quad (16)$$

Kiepahduksen epätarkkuustekijä α_{LT} valitaan taulukosta 5 kiepahduskäyrän mukaisesti. Valssatuilla I-profiileilla rajaehdot ovat: käyrä a, jos $h/b \leq 2$ ja käyrä b jos $h/b > 2$.

TAULUKKO 5. Kiepahduskäyrän valinta (SFS-1993-1-1, 66.)

Kiepahduskäyrä	a	b	c	d
Epävarmuustekijä α_{LT}	0,21	0,34	0,49	0,76

M_{cr} on kriittinen kiepahdusmomentti kimmoteorian mukaisesti. Jos tarkasteltava kappale on poikkileikkausluokkaa 1 tai 2, tulee kaavassa käyttää plastista taivutusvastusta kimmoteorian mukaisen taivutusvastuksen sijaan. Kriittinen kiepahdusmomentti lasketaan kaksoissymmetrisille poikkileikkauksille kaavalla 17.

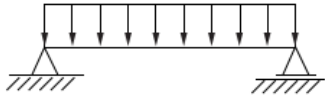
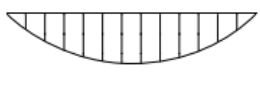
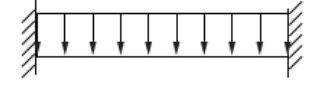
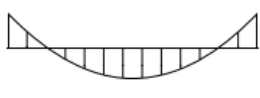

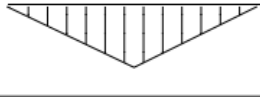

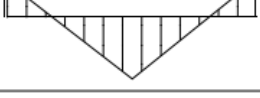
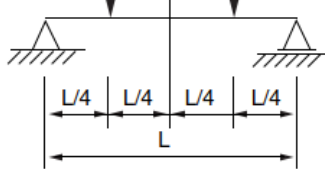
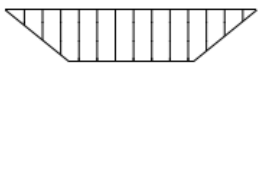
$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_y}{(k_z L)^2} \left(\sqrt{\left(\frac{k_z}{k_w}\right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k_z L)^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} + (C_2 \cdot z_g)^2} - C_2 \cdot z_g \right) \quad (17)$$

- jossa
- C_1 on taivutusmomentin huomioon ottava vakio
 - C_2 on kuormituksen sijainnin leikkauskeskiön nähden huomioon otettava vakio
 - k_z ja k_w arvot kuvaavat sauvojen päiden rotaatiotuentaa. Päistään niveltuetuilla palkeilla molemmat arvot ovat 1
 - z_g on etäisyys kuormituksen vääntökeskiöstä
 - I_z on poikkileikkauksen neliömomentti heikompaan suuntaan
 - I_w on käyristymisjäyhyys
 - I_t on vääntömomentti
 - E on materiaalin kimmokerroin
 - G on materiaalin liukukerroin.
- (Mela 2020, 104–106.)

C_1 , C_2 ja C_3 voidaan ratkaista elementtimenetelmällä tai taulukon 6 ja kuvan 4 taulukon perusteella.

TAULUKKO 6. Suhteellisen kiertymän määrittäminen (Ongelin & Valkonen 2010, 145.)

Tuentatapaukset sauvan päissä pystyakselin ympäri tapahtuvan kiertymän suhteen	Poikkipinnan käyräytyminen estetty sauvan molemmissa päissä	Poikkipinta voi käyräytyä sauvan molemmissa päissä	Poikkipinnan käyräytyminen estetty sauvan toisessa päässä, toinen pää voi käyräytyä
Kiertymä estetty sauvan molemmissa päissä	$k = 0,5$ $k_{\omega} = 0,5$	$k = 0,5$ $k_{\omega} = 1,0$	$k = 0,5$ $k_{\omega} = 0,7$
Kiertymä vapaa sauvan molemmissa päissä	$k = 1,0$ $k_{\omega} = 0,5$	$k = 1,0$ $k_{\omega} = 1,0$	$k = 1,0$ $k_{\omega} = 0,7$
Kiertymä estetty sauvan toisessa päässä, toinen pää voi kiertyä vapaasti	$k = 0,7$ $k_{\omega} = 0,5$	$k = 0,7$ $k_{\omega} = 1,0$	$k = 0,7$ $k_{\omega} = 0,7$

Kuormitus ja tukiehdot	Taivutusmomenttipinnan muoto	k	Tekijöiden arvot		
			C ₁	C ₂	C ₃
		1,0 0,5	1,132 0,972	0,459 0,304	0,525 0,980
		1,0 0,5	1,285 0,712	1,562 0,652	0,753 1,070
		1,0 0,5	1,365 1,070	0,553 0,432	1,730 3,050
		1,0 0,5	1,565 0,938	1,267 0,715	2,640 4,800
		1,0 0,5	1,046 1,010	0,430 0,410	1,120 1,890

KUVA 4. Tehollisen pituuden kerrointa vastaavat tekijöiden arvot (Ongelin & Valkonen 2010, 145.)

3.2.4 Taivutuskestävyys

Tässä työssä käsitellään vain kiepahdustukemattomia IPE- ja HE-profiileja. Näiden taivutuskestävyyttä rajoittaa kiepahdus, joten määräävä taivutuskestävyyden kaava on jo edellä esitetty kaava 17.

3.2.5 Palomitoitus

Teräksen mekaaniset ja termiset materiaaliominaisuudet muuttuvat palon aikana tapahtuvan lämpötilamuutoksen takia. Tämä on otettava huomioon rakenneanalyysia tehdessä. Mekaanisilla ominaisuuksilla tarkoitetaan rakenteen lujuusominaisuuksia, kimmokerrointa sekä rakenteen jännityksen muodonmuutosyhteyttä, kun taas termiset ominaisuudet ovat rakenteen lämpölaajeneminen, lämmönjohtavuus ja ominaislämpötilakapasiteetti. Myös viruman vaikutus on otettava huomioon 450 °C:n ylittyessä. (Malaska 2020, 244–245.)

Teräksen suhteellinen lujuus pienenee, mitä korkeammalle rakennetta ympäröivän tilan lämpötila nousee. Teräksen suhteellisella myötölujuudella tarkoitetaan teräksen lujuutta 20 °C:ssa. Tätä verrataan teräksen myötölujuuden arvoon korkeammassa lämpötiloissa. Teräksen myötölujuus pysyy lähes vakiona 400 °C:een asti, mutta tämän jälkeen se heikkenee huomattavasti. 600 °C:ssa myötölujuus on laskenut 50 prosenttiin ja 800 °C:ssa myötölujuudesta on jäljellä vain 11 prosenttia 20 °C:n arvosta. (Malaska 2020, 228–229.)

Teräsrakenteen palon kestävyyttä voidaan parantaa eristämällä se palotilanteen lämpötilan muutosta vastaan, tai lisäämällä rakenteen lämpötilakapasiteettia. Tähän on tarjolla useita vaihtoehtoja ja variaatioita, mutta ne on jaettu toteutustavan perusteella kahteen eri ryhmään eli märkiin ja kuiviin menetelmiin. Kuivan menetelmän palonsuojaukset kiinnitetään mekaanisesti suojattavaan rakenteeseen. Tähän menetelmään kuuluvat muun muassa palonsuojalevytykset, -koteloinnit, -kasetit, -verhoukset sekä materiaaleilla vuoraukset. Märissä menetelmissä palonsuojaus kiinnittyy rakenneosaan kemiallisesti, joten tällöin on varmistettava rakenteen ja palonsuojauksen kiinnitys toisiinsa. Märkiin menetelmiin kuuluvat palonsuojaruiskutukset, -maalaukset, -rappaukset sekä -betonointi. (Iso-Mustajärvi & Inha 1999, 51.)

Palomitoituksessa tutkitaan rakenteen kestävyyttä palon aikana. Rakenteen tulee kestää palotilanteessa vallitsevat kuormat sille määrätyn paloajan. Teräsrakenteet voidaan eristää paloa vastaan joko palonsuojamaalauksella tai koteloimalla rakenne. Rakenteen palonkestävyys voidaan osoittaa tarkastelemalla kestävyyttä tai rakenteen sisäistä lämpötilaa palotilanteen aikana. Rakenteen sisäistä lämpötilaa tarkasteltaessa mitoitusehto on

$$\theta_d \leq \theta_{cr,d} \quad (18)$$

jossa θ_d on mitoitusarvo lämpötilalle palotilanteessa
 $\theta_{cr,d}$ on materiaalin kriittinen lämpötila.

Kriittisessä lämpötilassa materiaalin myötölujuus ja taivutuskestävyys ovat laskeutuneet samansuuruisiksi kuin sitä kuormittavat ulkoisten voimien synnyttämät rasitukset. Kun tämä lämpötila ylitetään, niin rakenne murtuu. Kriittinen lämpötila lasketaan hyväksikäyttöasteen (μ_0) avulla seuraavalla kaavalla 19.

$$\theta_{cr,a} = 39,19 \ln \left(\frac{1}{0,9674 \mu_0^{3,833}} - 1 \right) + 482 \quad (19)$$

jossa hyväksikäyttöaste on:

$$\mu_0 = \frac{E_{fi,d}}{R_{fi,d,t}} \geq 0,013 \quad (20)$$

jossa $E_{fi,d}$ on kuormien vaikutuksen mitoitusarvo, joka on laskettu kaavalla 5
 $R_{fi,d,t}$ on teräksen kestävyuden mitoitusarvo.
 (Malaska 2020, 244–245.)

Tämän lisäksi myös teräksen palolle altis pinta-ala vaikuttaa palomitoitukseen. Tätä ilmaistaan poikkileikkaustekijällä, joka on suhdeluku teräksen palolle alttiista pinnasta sen tilavuuteen nähden. IPE- ja HE- profiilien poikkileikkaustekijä on vakio koko profiilin matkalla, joten laskennassa voidaan käyttää rakenteen palolle alttiin vaipan pinta-alan piiriä suhteessa poikkileikkauksen pinta-alaan. Profiilin

katsotaan olevan vain kolmelta sivulta palolle altis, sillä betoni tai tiili suojaa rakenteen yläpinnan palolta, jolloin poikkileikkaustekijä lasketaan kaavalla 21, jossa yksikkönä on 1/metri.

$$F/A = \frac{b + 2h}{A} \quad (21)$$

jossa b on poikkileikkauksen leveys
 h on poikkileikkauksen korkeus
 A on poikkileikkauksen pinta-ala
 (Iso-Mustajärvi & Inha 1999, 38.)

3.2.6 Taipuma

Taipumaa tarkastellaan käyttörajatilassa. Eri rakenneosille on määritelty ohjeellisia taipumarajoja, riippuen rakenneosan käyttötarkoituksesta. Suunnittelijan tulee suunnitteluprosessissa arvioida ja päättää kullekin rakenneosalle sopiva taipuma. SFS-EN 1993-1-1 standardissa on annettu ohjeelliset taipumaraja-arvot rakenneosille, joiden avulla suunnittelijan on helpompi tehdä päätös. Tässä kyseisessä standardissa on annettu pääkannattajien sallitulle taipumalle välipohjassa kaavan 22 mukainen arvo.

$$f = \frac{L}{400} \quad (22)$$

jossa L on rakenneosan pituus
 f on rakenteen taipuma.
 (Mela 2020, 55–57.)

Tätä arvoa verrataan rakenteen kokonaistaipumaan, joka lasketaan kaavalla 23. Taipumat lasketaan kuvien 2 ja 3 kaavoilla kullekin kuormitukselle.

$$w_{max} = w_1 + w_2 + w_3 - w_c \quad (23)$$

jossa w_1 on taipuman alkuarvo pysyvien kuormien kuormitusyhdistelmien vaikuttaessa
 w_2 on taipuman pitkäaikaisosuus pysyvien kuormien kuormitusyhdistelmien vaikuttaessa, kuten viruman aiheuttama lisätaipuma
 w_3 on muuttuvien kuormien aiheuttaman taipuman lisäosuus
 w_c on esikorotus kuormittamattomassa rakenneosassa.
 (Mela 2020, 54–56.)

3.3 Pielien mitoitus

Kun valitun palkin kestävyys on tarkastettu, tarkastetaan aukon pielen kestävyys. Pielien mitoituksessa käytetään Eurokoodin mukaisia materiaaliparametreja ja osavarmuuslukuja. Rakenteessa käytettyjen materiaalien puristuslujuudet ja lujuusluokat tulee tarkastaa vanhoista rakennesuunnitelmista tai seinästä otetun koekappaleen perusteella. Jälkikäteen tehtyjä aukkoja tarkastellaan raudoittamattomina rakenteina.

3.3.1 Betonipielet

Betonipielten mitoituksessa pieliä tarkastellaan raudoittamattomina rakenteina. Tarkastelussa varmistetaan niin betonipielen puristuskestävyys (kaava 24) kuin palkin pään rasittaman puristuspuunnan puristuskestävyys (kaava 25). Jos nämä ehdot täyttyvät, rakenne kestää ilman pieliteräksiä.

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} \quad (24)$$

jossa N_{Ed} on pieltä rasittava normaalivoima
 N_{Rd} on pielen puristuskestävyyden mitoitussarvo

$$\frac{N_{Ed}}{A_b} \leq f_{cd,pl} \quad (25)$$

jossa A_b on palkin pään puristuspuunnan pinta-ala
 $f_{cd,pl}$ on puristuslujuuden mitoitussarvo raudoittamattomalle betonille

Betonirakenteiden pitkäaikaistekijä ja kuormien vaikuttamistavasta aiheutuva kerroin α_{cc} on 0,85. Raudoittamattomissa betonirakenteissa se kerrotaan pienennyskerroimella 0,8, kuten kaavassa 26 on esitetty. Kaavalla 27 lasketaan raudoittamattoman betonin puristuslujuus.

$$\alpha_{cc,pl} = 0,80 \cdot \alpha_{cc} \quad (26)$$

$$f_{cd,pl} = \frac{\alpha_{cc,pl} f_{ck}}{\gamma_c} \quad (27)$$

jossa f_{ck} on betoninlieriölujuuden ominaisarvo
 γ_c on betonin materiaalin osavarmuusluku.
 (BY 211 2015, 173.)

Pielien puristuslujuuden arvoon vaikuttaa sen hoikkuus. Jos pieli on hoikka, siihen syntyy herkemmin lisätaipumaa ja -momenttia. Tämä tarkastelu tehdään vertaamalla pielen rajahoikkuutta λ_{lim} (kaava 28) pielen hoikkuuteen λ (kaava 30).

$$\lambda_{lim} = \frac{20ABC}{\sqrt{n}} \quad (28)$$

jossa käytetään vakioarvoja A=0,7 B=1,0 ja C=0,7
 ja n lasketaan kaavalla 25.

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd,pl}} \quad (29)$$

jossa A_c on betonipoikkileikkauksen pinta-ala
 $f_{cd,pl}$ on betonin puristuslujuuden tehollinen mitoitusarvo (kaava 27)
 N_{Ed} on mitoituskuorma

$$\lambda = \frac{l_0}{i} \quad (30)$$

jossa i on jäyhyysäde, joka lasketaan suorakaidepoikkileikkauksilla kaavalla 31
 l_0 on nurjahduspituus, joka lasketaan kaavalla 32

$$i = \frac{h_w}{\sqrt{12}} \quad (31)$$

jossa h_w on pielen paksuus

$$l_0 = L_w \cdot k_0 \quad (32)$$

jossa L_w on aukon korkeus
 $k_0 = 1$ nurjahdustavasta johtuva kerroin
 (BY 211 2015, 122-123.)

Pielen puristuslujuuden arvo lasketaan kaavalla 33, jos rajahoikkeuden arvo on suurempi kuin pielen hoikkeuden arvo. Jos rajahoikkeuden arvo ylitetään, tulee toisen kertaluvun vaikutus ottaa huomioon. Tähän käytetään likimääräistä menetelmää (kaava 34), jossa toisen kertaluvun vaikutus sekä viruma on otettu huomioon kertoimella Φ .

$$N_{Rd} = \eta f_{cd.pl} b h_w \left(1 - 2 \frac{e_{tot}}{h_w}\right) \quad (33)$$

jossa e_{tot} on normaalivoiman epäkeskeisyys (kaava 36)
 b on pielen leveys
 h_w on seinän paksuus
 η on 1 kun $f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$

$$N_{Rd} = f_{cd.pl} \cdot h_w \cdot \Phi \quad (34)$$

jossa Φ lasketaan kaavalla 35

$$\Phi = \min \begin{cases} 0,71 \left(1 - 2 \cdot \frac{e_{tot}}{h_w} \right) - 0,0013 \frac{l_0}{h_w} \\ 1 - 2 \cdot \frac{e_{tot}}{h_w} \end{cases} \quad (35)$$

jossa e_{tot} on ensimmäisen kertaluvun epäkeskeisyyden arvo, joka lasketaan kaavalla 36. (BY 211 2015, 173–175.)

$$e_{tot} = e_{0E} \quad (36)$$

Normaalivoiman epäkeskeisyys e_{0E} on usean eri tekijän summa. Siihen vaikuttavat mittaepätarkkuudesta johtuvat epäkeskeisyys e_i , alkuepäkeskeisyys e_0 sekä mitoitettavan rakenneosan ylä- ja alapäiden normaalivoiman epäkeskeisyydestä johtuvat arvot e_{01} ja e_{02} . Alkuepäkeskeisyys lasketaan yhtälöllä 37, jossa valitaan suurempi seuraavista arvoista.

$$e_0 = \max \left(\frac{h_w}{30}; 20mm \right) \quad (37)$$

jossa h_w on pielen paksuus.

Rakenteen mittaepätarkkuuksista johtuva lisä lasketaan kaavalla 38.

$$e_i = \theta_i \frac{l_0}{2} \quad (38)$$

jossa l_0 on nurjahduspituus
 θ_i lasketaan kaavalla 39

$$\theta_i = \theta_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m \quad (39)$$

jossa $\theta_0 = \frac{1}{200}$ on Suomessa käytetty perusarvo

$\alpha_h = 1$ kun $l_w < 4m$

α_m arvo perustuu rakenneosien määrään, kun tutkitaan yksittäistä rakenneosaa. Se lasketaan kaavalla 40, jossa $m = 1$, jolloin kaava 39 supistuu kaavan 41 mukaiseen muotoon.

$$\alpha_m = \sqrt{0,5\left(1 + \frac{1}{m}\right)} \quad (40)$$

jossa m on tarkasteltavien rakenneosien lukumäärä

$$\theta_i = \theta_0 = \frac{1}{200} \quad (41)$$

Ensimmäisen kertaluvun kuorman epäkeskeisyyden kerroin lasketaan kaavalla 42.

$$e_{0E} = \max \begin{cases} 0,6 \cdot e_{02} + 0,4 \cdot e_{01} \\ 0,4 \cdot e_{02} \end{cases} \quad (42)$$

jossa e_{02} lasketaan kaavalla 43

e_{01} lasketaan kaavalla 44

$$e_{02} = e_{ylä} + e_i \quad (43)$$

$$e_{01} = e_{ala} + e_i \quad (44)$$

jossa e_i on mittaepätarkkuudesta johtuva epäkeskeisyys

$e_{ylä} = e_0$ on pielen yläpäässä vaikuttava epäkeskeisyyden arvo

$e_{ala} = 0$ sillä kuorma ehtii jakautua pielen matkalla keskeiseksi kuormitukseksi.

(BY 211 2015, 130.)

3.3.2 Muuratut pielet

Puristuslujuutena muuratulle kappaleille käytetään puristuslujuuden normalisoidua keskiarvoa f_b . Kuten jo aiemmin on todettu, muuraus on kuitenkin tehty tiilistä sekä saumalaastista, joten saumalaastin puristuslujuus f_m tulee huomioida rakennetta tarkasteltaessa. (RIL 206-2010 2010, 30.)

Paikallisesti puristetuilla muuratuilla rakenteilla puristuskestävyyden arvo lasketaan kaavalla 45.

$$N_{Edc} \leq N_{Rdc} \quad (45)$$

jossa N_{Edc} on paikallinen pystysuora kuormitus
 N_{Rdc} on paikallisen pystykuorman kestävyys, joka lasketaan kaavalla 46.

$$N_{Rdc} = \beta \cdot A_b \cdot f_b \quad (46)$$

jossa A_b on kuormitettu pinta-ala
 f_b on puristuslujuuden normalisoitu keskiarvo
 β on paikallisen kuormituksen korotuskerroin, joka lasketaan kaavalla 47

$$\beta = \left(1 + 0,3 \cdot \frac{a_1}{h_c}\right) \left(1,5 - 1,1 \frac{A_b}{A_{ef}}\right) \quad (47)$$

jossa a_1 on seinän pään ja kuormituspinnan välinen etäisyys, joten sen arvo on 0
 h_c on aukon korkeus
 $\frac{A_b}{A_{ef}}$ on enintään 0,45
 A_b on kuormituspinta-ala
 A_{ef} on tukipinnan tehollinen pinta-ala, joka lasketaan kaavalla 48

$$A_{ef} = l_{efm} \cdot t \quad (48)$$

jossa t on pielen paksuus
 l_{efm} on pielen korkeuden puolivälissä määritetyn alueen tehollinen pituus, joka lasketaan yhtälöllä 49

$$l_{efm} = \min \left(b ; \frac{h_c}{2} \cdot \tan(30^\circ) + l_1 \right) \quad (49)$$

jossa b on pielen leveys
 h_c on aukon korkeus
 l_1 on palkin pään pituus tuella
 $\tan(30^\circ)$ koska kuorman katsotaan tiilirakenteissa jakautuvan 30 asteen kulmassa alaspäin.

Aukkoryhmässä 1 paikallisen kuormituksen korotuskerroin lasketaan kaavalla 47, muissa aukkoryhmissä tämä kerroin on 1 (RIL 206-2010 2010, 67–68). Aukkoryhmät määritetään SFS-EN 1996-1 taulukon 3.1 mukaisesti, jossa aukon tilavuutta verrataan seinän bruttotilavuuteen. Aukkoryhmään 1 kuuluvat kaikki aukot, jotka ovat alle 25 prosenttia seinän bruttotilavuudesta. Muihin ryhmiin kuuluvat tätä suuremmat aukot. (SFS-1996-1-1, 24.)

3.3.3 Pieliteräksset

Jos aukotettava betoniseinä on raudoitettu, suunnittelija voi ennen pieliteräksien määrittämistä erillisillä työkaluilla tai käsin laskennalla tarkastaa teräsbetonisen pielen kestävyuden. Pieliteräksinä käytetään aukkopalkin levyisiä UPE-teräsprofiileja, jonka nurjahdus heikompaan suuntaan estetään kiinnittämällä se pieliin ja se voidaan mitoittaa kaavalla 50.

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1 \quad (50)$$

jossa N_{Ed} on pilaria rasittava normaali voima

$$N_{Rk} = N_{Rd} = f_{yd}A$$

$$M_{y,Rk} = f_{yd}W_y$$

$$M_{y,Ed} = N_{Ed}e_{N,y}$$

χ_y lasketaan kaavalla 14

e_y on tehollisen- ja bruttopoikkileikkauksien välinen etäisyys

γ_{M1} on teräksen osavarmuuskerroin

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + 0,6 \min(\lambda_y ; 1) \frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \text{ PL 3 ja 4} \quad (51)$$

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + \min(\lambda_y 0,2 ; 0,8) \frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \text{ PL 1 ja 2} \quad (52)$$

jossa

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{N_{Rk}}{N_{cr,y}}} \quad (53)$$

(Mela 2020, 104–106.)

Laskennassa tehdään kaksi oletusta: UP-profiili liittyy nivelellisesti yläpäässä ja alapäässä on jäykkä kiinnitys. Tällöin pilarin yläpäässä oleva momentti on nolla ja tukimomentti alapäässä on riittävän suuri, joten C_{my} arvoksi saadaan minimiarvo 0,4.

Suunnittelijan tulee tarkastaa pieliterästen aiheuttamat tukireaktioiden rasitukset ympäröiville rakenteille tapauskohtaisesti. Pieliterästen ankkurointia ei tässä työssä tarkastella. Tarkastelun voi suorittaa esimerkiksi Hiltin Profis Anchor -ohjelmistolla, joka on tarkoitettu kiinnikkeiden mitoittamiseen.

4 AUKONYLITYSPALKIN TOTEUTUS TYÖMAALLA

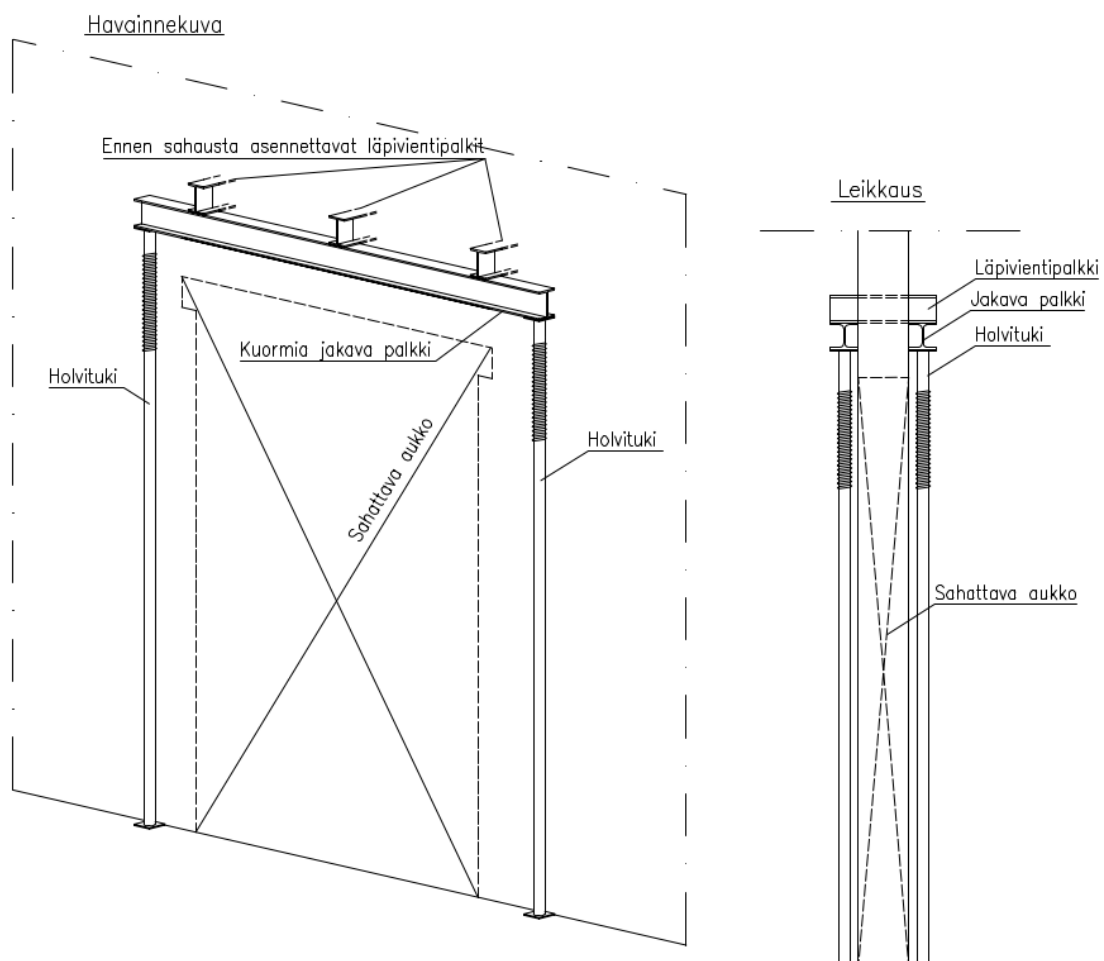
4.1 Purkutyöt

Purkutöissä tulee kiinnittää huomiota erityisesti turvallisuuteen. Vaikka vastuu onkin pääasiallisesti purkutyön suorittajalla, tulee kantavia rakenteita purettaessa olla purkutyösuunnitelma. (Rahikka 1988, 70.) Purkutyösuunnitelman laatii purku-urakoitsija yhdessä rakennesuunnittelijan kanssa (Lehtonen 2019, 35).

4.2 Työn toteutus

Rakennesuunnittelija tarkastaa työnaikaisen tuennan tarpeellisuuden. Suuremmissa aukoissa työnaikainen tuenta yleensä tarvitaan. Tuennan tarkoituksena on jakaa seinän kuormat väliaikaisesti viereisille kantaville rakenteille. Tuenta toteutetaan pääsääntöisesti teräspalkeilla. Tulevan palkin yläpuolelle tehdään pienempiä reikiä, josta teräspalkit työnnetään läpi. Kuorma siirretään teräspalkeille tunkkaamalla tai kiilaamalla, ja siitä edelleen holvitukia pitkin muille kantaville rakenteille. (Palomäki 2009.) Kuvassa 5 on esitetty havainnekuva aukon tuennasta ennen sahausta.

Tuennan jälkeen sahataan aukko. Nurkkiin porataan pyöreät reiät ennen sahaamista nurkkien ylisahaamisen estämiseksi. Seuraavaksi asennetaan teräspalkki. Teräspalkki voidaan esitaivuttaa kiilojen ja tunkkauksen avulla, jottei seinään tule muodonmuutoksia työaikaisten tukien poiston jälkeen. Raskaasti kuormitetuissa palkeissa suunnittelijan on hyvä määrittää tunkkausvoima ja tarkat tunkkauspisteet asennussuunnitelmaan. Tunkkausvoima on luotettavampi tapa varmistua palkin esitaivutuksen oikeellisuudesta kuin pelkkä siirtymän seuranta. Tunkkausta suunniteltaessa on myös aina varmistettava rakenteen kestävyys, jota vasten tunkataan. Yleensä käytetään molempiin pieliin pystyteräksiä, mitkä kiinnitetään vanhaan rakenteeseen. Nämä asennetaan aukonylityspalkin yhteydessä. Lopuksi poistetaan väliaikaistuennat ja palkit verhoillaan rakennussuunnitelman mukaan.



KUVA 5. Havainnekuva aukon tuennasta ennen sahausta

5 TYÖKALUOHJEEN TEKO

Ohjeen teko alkoi tutustumalla Sweco:n muihin Tekla-työkaluihin. Ohje tehtiin Word-tiedostoon 3D-Paint-työkalua apuna käyttäen. Ohjeen tekemiseen kului aikaa kaksi kuukautta. Ohje suunniteltiin työkalun käyttäjälähtöisesti ja päätettiin, mitkä parametrit ovat mallintamisessa tärkeimpiä. Ohjeesta haluttiin saada selkeä ja ymmärrettävä.

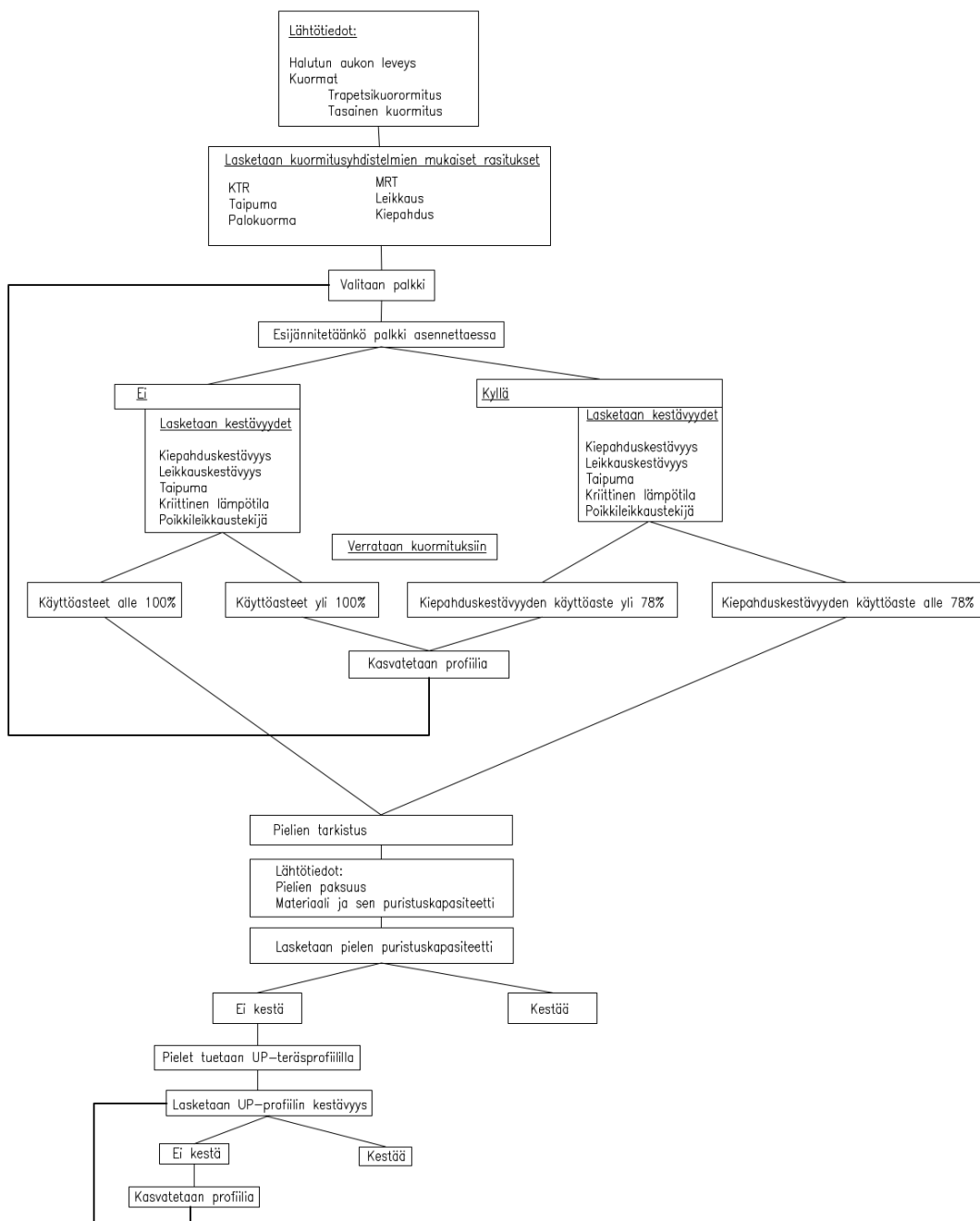
Ohjeen ensimmäinen versio esitettiin suunnittelukokouksessa muutamalle Sweco IT-yksikön henkilölle, jotka antoivat oman näkökulmansa koodareina ohjeeseen. Samalla selvisi Tekla-työkalun mahdollisuus täyttää Excel-taulukkoa. Laskentapohja tuotettiin opinnäytetyön yhteydessä, ja IT-yksikön henkilöiden kommentit helpottivat laskentapohjan laadinnassa. Tekla-työkalu osaa itse täyttää Excelin, eli siihen ei tarvita suurta koottua taulukkoa, josta työkalu hakisi tiedon. Näin ollen jokaisesta työkalulla tehdystä palkista saadaan oma laskelma sivuprosessina.

6 LASKENNAN KULKU

Kuvassa 6 on esitetty laskentaperiaate, jota Excel-laskentapohja noudattaa. Lähtötiedoissa määritetään halutun aukon leveys sekä kuormat. Kuormitustapauksia ovat trapetsikuormitus ja tasainen kuormitus. Sen jälkeen lasketaan kuormitusyhdistelmien mukaiset rasitukset käyttörajatilassa ja murtorajatilassa.

Sen jälkeen valitaan palkki, ja päätetään, esitaivutetaanko sitä asennuksen yhteydessä. Yleensä esitaivutus tehdään tunkaten tai kiilaten. Jos palkkia ei esitaivuteta, yleensä määrääväksi kuormitusyhdistelmäksi tulee käyttörajatilan taipuma. Esitaivutuksen suuruutena käytetään rakenteen oman painon aiheuttamaa taipumaa. Tällöin palkki voidaan periaatteessa kuormittaa murtorajatilassa 100 %:iin. Jos palkki kuormitetaan murtorajatilassa 100 %:iin, palkin vaadittu eristyspaksuus paloa vastaan kasvaa kohtuuttoman suureksi, joten palkki mitoiteetaan murtorajatilassa 78 %:iin. Jos palkki ei kestä, kasvatetaan sen profiilia ja tehdään sama tarkastelu uudelleen.

Pielet voivat olla joko betonia tai tiiltä. Molemmissa tarkastetaan pielen puristuskestävyys hoikkuuden suhteen, sekä palkin pään rasittaman pinta-alan puristuskestävyys. Jos pielet kestävät, laskenta voidaan lopettaa. Jos puristuskapasiteetti ylittyy, täytyy pielet tukea UP-teräsprofiilein, ja tarkastaa niiden kestävyys.



KUVA 6. Laskentaperiaate

7 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä Tekla Structures-aukonylityspalkkityökalun ohje, jonka avulla suunnitteluprosessi nopeutuisi korjausrakentamisen yksikössä. Opinnäytetyö tehtiin yhteistyössä Sweco Rakennetekniikka Oy:n korjaus- ja täydennysrakentamisen yksikön kanssa. Yhteistyö oli sujuvaa koko opinnäytetyöprosessin ajan.

Opinnäytetyöprosessiin kuului opinnäytetyöraportti sekä toiminnallisena osuutena ohjeen ja Excel-laskentapohjan suunnittelu ja laatiminen. Opinnäytetyössä perehdyttiin betoni- ja tiiliseinämateriaaleihin sekä aukonylityspalkin ja pielten mitoittamiseen. Teoriapohja auttoi laskentapohjan laatimisessa, sillä teoriapohjassa käsiteltiin laajalti rakenteiden laskentaa. Laskennassa käytettiin Eurokoodien mukaisia laskentamenetelmiä, joka oli osa opinnäytetyön luotettavuutta.

Tälle opinnäytetyölle asetetut tavoitteet ovat täyttyneet hyvin. Tekla Structures-aukonylityspalkin työkalun ohje sekä Excel-laskentapohja saatiin tehtyä suunnitelmien mukaan ja yhteistyökumppanina toiminut Sweco Rakennetekniikka Oy oli tyytyväinen lopputulokseen. Ohje ja laskentapohja otetaan käyttöön Sweco:lla opinnäytetyön julkaisemisen jälkeen. Työkalua ei laadittu ennen opinnäytetyön valmistumista, joten suunnitteluprosessin nopeutumisen toteutumisesta ei voida vielä tarkkaan sanoa. Ohjetta ja työkalua on tarkoitus jatkokehittää tulevista käyttökokemuksista saatujen palautteiden mukaisesti.

Opinnäytetyöprosessissa tuli vastaan muutamia haasteita. Laskentapohjaa kehitettäessä siitä haluttiin saada yksinkertainen, mutta samalla siinä piti huomioida lukuisia eri palkkivaihtoehtoja. Tämä aiheutti haastetta erityisesti logiikan kehittämisessä. Loppuen lopuksi Excel-laskentapohjasta tuli kuitenkin toimiva. Toinen haaste oli tiiliseinän kestävyysarviointi, sillä eri vuosikymmenten tiilien puristuslujuus vaihtelee suuresti. Tähän ei ole vakioarvoa, vaan helpoin tapa on määrittää tiilien puristuslujuus kokeellisesti aukosta puretuista koekappaleista ja saada näin varmistettua tiilien puristuskestävyys.

Laskentapohjaa kehitettäessä huomattiin, että laskentapohja olisi jo itsestään hyvä työkalu ilman Tekla Structureen linkittämistä. Ohjetta tullaan kehittämään opinnäytetyöprosessin jälkeen käyttäjäystävällisemmäksi korjaus- ja täydennysrakentamisen yksikössä. Jatkokehittämissuunnitelmana laskentapohjaan voisi lisätä esimerkiksi teräspuikuprofiilikirjaston, jota voisi käyttää aukonylityspalkin ja teräspielten mitoituksen laskennassa. Tämän lisäksi työkaluun voisi lisäksi kehittää teräsbetonisen aukonylityspalkin sekä piilien kestävyys tarkastelun.

LÄHTEET

Berghäll, J. 1988. Betonirakenteet. Teoksessa Hero, P. (toim.) RIL 174-4 Korjausrakentaminen IV Runkorakenteet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry, 90–118.

BY211. 2015. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja – osa 2. Helsinki: BY Koulutus Oy.

Höyhtyä, M. & Vanttinen, Y. 1989. Muuratut rakenteet 1. Jyväskylä: Rakentajain Kustannus Oy.

Iso-Mustajärvi, P. & Inha, T. 1999. Kantavien teräsrakenteiden palosuojaus. Tampere: Rakennustieto Oy.

Järvenpää, M-E. 1999. Statiikkaa. Tampereen ammattikorkeakoulun rakennetekniikan opetusmateriaali. Viitattu 15.3.2021. <https://ebax-edujee-raksu.s3.amazonaws.com/qNpj5jhZDDzW3xms?AWSAccessKeyId=0BAFSRZYWY3NDDV2JG82&Expires=1619016317&Signature=yECsEIMADROcSb6ATI67VWuRFc0%3D#statiikkaa.pdf>

Kangaspuoskari, M. 2020. Rakenneosien mitoitus. Teoksessa Tiainen, T. & Papula, S. (toim.) Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus. Joensuu: Teräsrakenneyhdistys ry, 79–143.

Kinnunen, J. 1999. Muuratut rakenteet 2. 3. painos. Tampere: Rakennustieto Oy.

Kouhi, J. 1988. Rakenteiden rasitusten ja kestävyiden määrittäminen. Teoksessa Kemppe, J. & Kouhi, J. (toim.) RIL 167-1 Teräsrakenteet I. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry, 103–109.

Laiho, K. 1988. Korjausrakentamisen syyt. Teoksessa Hero, P. (toim.) RIL174-4 Korjausrakentaminen IV Runkorakenteet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry, 30–33.

Lehtonen, K. 2019. Purkutyöt – opas tekijöille ja teettäjäille. Ympäristöministeriö. Luettu 15.3.2021. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161884/YM_2019_29.pdf

Malaska, M. 2020. Palomitoitus. Teoksessa Tiainen, T. & Papula, S. (toim.) Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus. Joensuu: Teräsrakenneyhdistys ry, 221–251.

Mela, K. 2020. Suunnitteluperusteet. Teoksessa Tiainen, T. & Papula, S. (toim.) Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus. Joensuu: Teräsrakenneyhdistys ry, 41–77.

Mäkiö, E. 2016. Kerrostalot 1940-1960. 2. painos. Helsinki: Rakennustieto Oy. Neuvonen, P & Mäkiö, E. & Malinen, M. Kerrostalot 1880-1940. 2002. Hämeenlinna: Rakennussäätiö RST ja Rakennustieto Oy.

Nevalainen, H. 1988. Teräksen lujuus ja laatuluokat. Teoksessa Kemppi, J. & Kouhi, J. (toim.) RIL 167-1 Teräsrakenteet I. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry, 56–63.

Ongelin, P. & Valkonen, I. 2010. Hitsatut profiilit EN 1993 -käsikirja. Rautaruukki Oyj. Luettu 3.4.2021. https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/373533/mod_resource/content/1/Ruukki-Hitsatut-Profiilit-Kasikirja-2010_PDF-versio.pdf

Palomäki, J. 2009. Kantavan väliseinän purku ja korvaaminen uudella rakenteella. Ratu. Luettu 1.3.2021. Vaatii käyttöoikeuden. <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/Ratu%20F24-0203>

Papula, S. 2020. Rakenneterästen ja ruostumattomien terästen valmistus, ominaisuudet ja tuotteet. Teoksessa Tiainen, T. & Papula, S. (toim.) Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus. Joensuu: Teräsrakenneyhdistys ry, 17–36.

Rahikka, A. 1988. Runkorakenteiden korjausrakentamisen suunnittelu. Teoksessa Hero, P. (toim.) RIL 174-4 Korjausrakentaminen IV Runkorakenteet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 30–33.

RAKSU 2016. 5.2 Mitoitus kiepahdukselle. Tampereen ammattikorkeakoulun rakennetekniikan opetusmateriaali. Luettu 1.4.2021. https://raksu.edu-jee.com/topic?52_mitoitus_kiepahdukselle

RIL 206-2010 2010. Muurattujen rakenteiden suunnitteluohje. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

SFS-1993-1-1. 2006. Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Luettu 18.4.2021. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online-sfs-fi.libproxy.tuni.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/9344.html.stx>

SFS-1996-1-1. 2006. Eurokoodi 6: Muurattujen rakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Raudoitettuja ja raudoittamattomia muurattuja rakenteita koskevat yleiset säännökset. Luettu 24.4.2021. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online-sfs-fi.libproxy.tuni.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/9344.html.stx>

Sumkin, H. 2017. Varmuuden osoittaminen osavarmuusmenetelmällä. Teoksessa Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. (toim.) RIL 201-1-2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 36–44.

Teppo, J. 1988. Vanhat rakennustarvikkeet ja työtavat. Teoksessa Tuppurainen, Y. (toim.) RIL 174-1 Korjausrakentaminen I Yleiset perusteet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry, 42–77.

LIITTEET

Liite 1. Ohje aukonylityspalkki-työkalulle

Lähtötiedot työkalun koodaajalle:

1 (10)

- Tukihyllyn leveys on automaattisesti 50 mm, mutta sitä voi kasvattaa halutessaan pielet-välilehdellä
- Jos kuormat ovat liian suuret, profiili on IPE 80 ja työkalu antaa virheilmoituksen
- Työkalu tekee reiän vain yksikuorisiin rakenteisiin. Esimerkiksi Sandwich-elementissä loput reiät täytyy tehdä itse haluamalleen korkeudelle.
- Työkalu luo seinään aukon ja palkin osoittamalla pisteet aukon reunasta reunaan. Palkki on keskeisesti aukon ja seinien päällä.
- Aukon korkeus on automaattisesti 2100 mm palkin alareunasta, mutta korkeutta voidaan säätää vetokahvalla.
- Jos työkaluun ei syötetä kuormia, niin profiiliksi tulee IPE 80 ja työkalu antaa virheilmoituksen.
- Palkki on automaattisesti 100 mm aukkoa leveämpi
- Palkki on itsenäinen rakenneosana, josta tehdään mahdollisesti erillinen kokoonpanopiirustus.
- Jos palkki esitaivutetaan, aukon palkin yläpuolelle jää vapaata tilaa 100 mm. Muutoin vapaata tilaa jää 50 mm, tämä on muutettavissa pielet-välilehdellä
- Työkaluun syötetään aukon kuormitukset ja työkalu täyttää ne Excel-tiedostoon, josta työkalu antaa vaihtoehdot neljälle eri profiilille. Suunnittelija kuitenkin valitsee haluamansa profiilin.
- Mallista työkalu hakee seinän paksuuden ja aukon leveyden.
- Periytyvä numerointi
- Jokaisesta palkista luodaan oma GUID Excel-tiedosto. Jos palkki vaihdetaan, edellinen tiedosto korvataan uudella.
- Kaikki työkalun tekstit esitetään englannin kielellä.

Part properties

Nimiehdotuksia: Wall cut with beam tai Door opening with beam

Profiili: IPE/HEA/HEB/HEM

Materiaali: Steel, s355JR

Class: 2

Partfix: B

Numerointisarjan aloitusnumero: 100

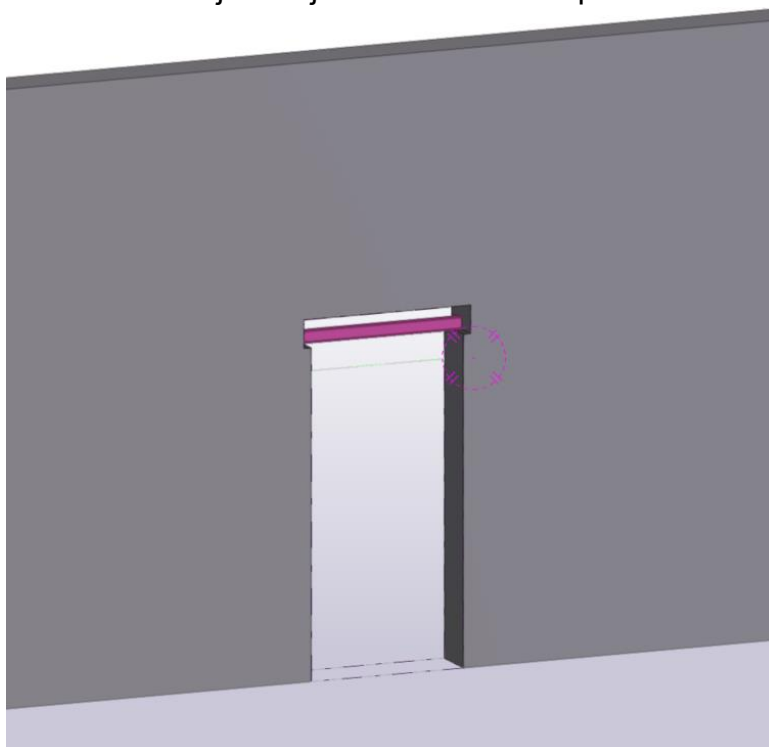
Työkalun toimintaperiaate

2 (10)

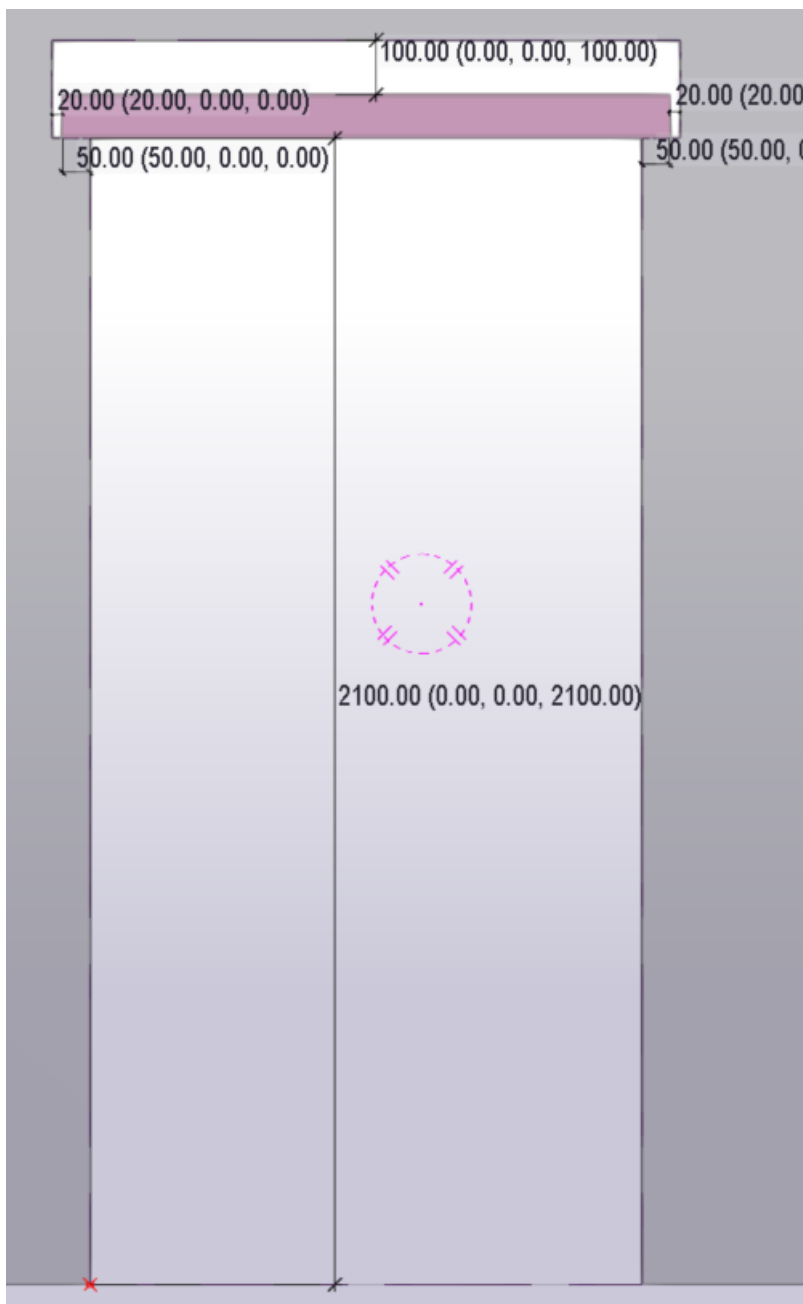
1. Valitaan työkalu



2. Valitaan seinä ja sen jälkeen osoitetaan pisteet

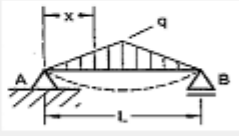
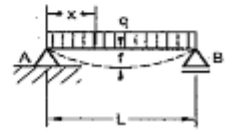


Kahden pisteen välille tulee aukko ja sen päälle palkki



Aukon korkeus on 2100 mm automaattisesti, mutta se on säädettävissä klikkaamalla aukon korkeutta ja syöttämällä siihen halutun arvon. Aukon leveys määräytyy kahden valitun pisteen välille. Leveys tulee olla välillä 800–4000 mm. Aukonylityspalkki on minimissään 100 mm leveämpi kuin aukko itse, ja palkin päihin jää 20 mm asennusvara. Palkin päällä oleva vapaa väli on 100 mm, mutta sekä tukileveyttä että vapaan välin korkeutta voidaan säätää Pielet-valikosta.

Lähtötiedot	Pofilli	Pieli
Seuraamusluokka	CC2	
Trapetsikuorman maksimiarvo		
Pysyväkuorma	<input checked="" type="checkbox"/> 0	kN/m
Hyötykuorma	<input checked="" type="checkbox"/> 0	kN/m
Lumikuorma	<input checked="" type="checkbox"/> 0	kN/m
Tasainen kuorma		
Pysyväkuorma	<input checked="" type="checkbox"/> 0	kN/m
Hyötykuorma	<input checked="" type="checkbox"/> 0	kN/m
Lumikuorma	<input checked="" type="checkbox"/> 0	kN/m
Esitaivutetaanko	No	

3. Klikkaamalla palkkia aukeaa Lähtötiedot-valikko.

Seuraamusluokka valitaan alavetovalikosta, vaihtoehdot ovat CC1, CC2 ja CC3.

Kuormat syötetään trapetsikuormana tai tasaisena kuormana.

Esitaivutuksessa päätetään, taivutetaanko palkkia asennuksen aikana.

Lähtötiedot Profiili Pieli

Palkinlaatu	IPE 80	HEA 100	HEB 100	HEM 100
Taivutusjännitys käyttöaste	27 %	8 %	6 %	3 %
Palkin leveys(mm)	46	100	100	106
Taipuman käyttöaste	79 %	18 %	14 %	6 %
Tcrit (C)	768	958	994	1117
F/A	269,6	137,5	115,2	65,0
Palkin omapaino (kg)	12	33,4	40,8	83,6

Valitse palkki IPE 80

Taipuman käyttöaste	41 %
Palkin leveys(mm)	46
Taivutuksen käyttöaste	124 %
Tcrit (C)	707
Palkin omapaino (kg)	12 %

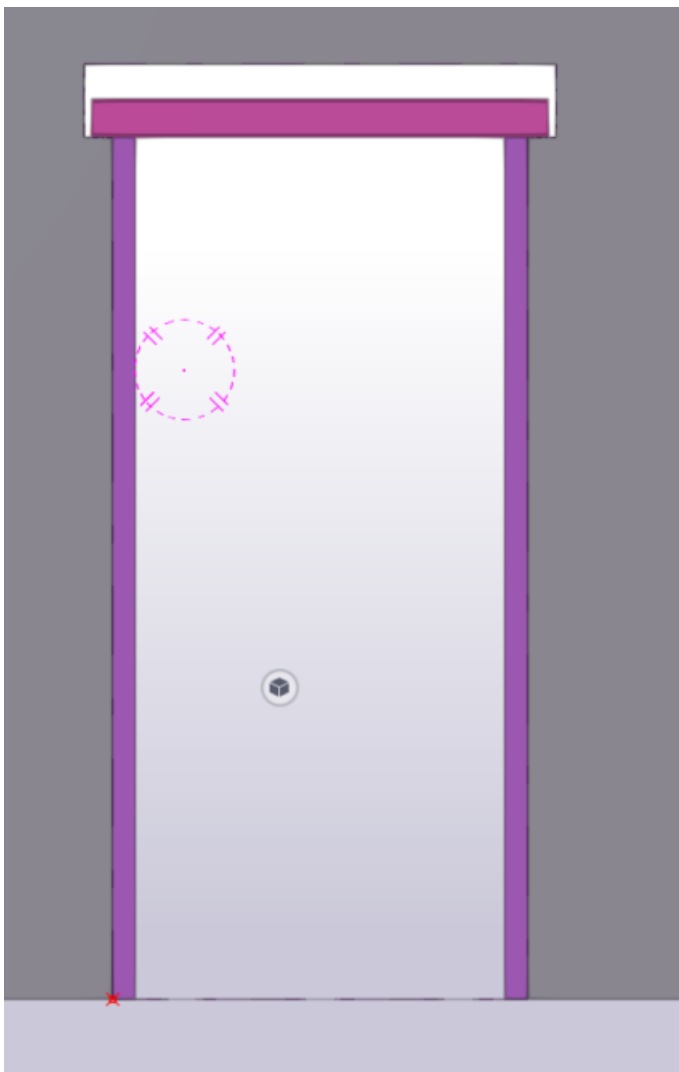
4. Profiilit-välilehdellä valitaan käytettävä profiili.

Työkalu hakee Excelistä kuormien ja aukon leveyden perusteella kustakin profiilista ensimmäisen, jonka käyttöaste on alle 100% ja ilmoittaa muita suunnittelijaa kiinnostavia tietoja. Suunnittelija valitsee näiden tietojen perusteella haluamansa profiilikoon alasvetovalikosta. Alla näkyy vielä valitun palkin suunnitteluparametrit.

Lähtötiedot	Profiili	Pieli		
Palkin pää tuella	<input type="text" value="50"/>	mm	>50mm	
Vapaan välin korkeus	<input type="text" value="100"/>	mm	>50mm	
Materiaali	<input checked="" type="checkbox"/> Betoni	<input type="checkbox"/> Tiili		
Puristuslujuus	<input type="text" value="C20/25"/>	f_d	<input type="text" value="10.00"/>	N/mm ²
Aykkoryhmä	<input type="text" value="1"/>			
Reunapuristuskestävyyden käyttöaste	<input type="text" value="2 %"/>		<input type="text" value="22 %"/>	
Puristuskestävyyden käyttöaste	<input type="text" value="33 %"/>		<input type="text" value="27 %"/>	
Teräspielet	<input type="text" value="No"/>			
Ehdotettu teräspieli	<input type="text" value="UPE 120"/>		Käyttöaste	<input type="text" value="7 %"/>
Valitse teräspieli	<input type="text" value="UPE 80"/>			<input type="text" value="10 %"/>

5. Pielet-valikossa määritetään piilien kestävyysparametrit.

Suunnittelija valitsee käytetyn seinämateriaalin ja antaa sille puristuslujuuden arvon. Jos kyseessä on tiili, suunnittelija valitsee aukkoryhmän. Työkalu hakee Excel-tiedostosta materiaalin käyttöasteen, jonka perusteella suunnittelija päättää, tarvitseeko pieliteräkset alaspäinvalikosta "No/Yes". Työkalu ehdottaa Excelin perusteella teräspielen, mutta suunnittelija valitsee itse haluamansa palkin alaspäinvalikosta. Molempien käyttöasteet työkalu hakee Excelistä. Työkalu ilmoittaa piilien lisäyksen jälkeen virheilmoituksen "Tarkasta jälkikiinnitysankkurointi", jonka suunnittelija kuittaa.



6. Työkalu mallintaa pieliteräkset aukon korkuisiksi.

Tulosten tarkastelu

Päivämäärä 24.4.2021

Valittu Poikkileikkaus

IPE 270

Mitoituksen ääriarvot

Tarkastelu	Mitoitusarvo	Raja-arvo	Käyttöaste
Leikkaus (kN)	65,4	453,8	14,4 %
Taivutus (kNm)	36,0	171,8	20,9 %
Taipupa (mm)	0,8	5	16,3 %

Palomitoituksen kiteerit

Kriittinen lämpötila (C)	1040
F/A (1/m)	146,90

Esitaivutus

Esitaivutetaanko	Kyllä
Tukirekatio esitaivutukselle	
V.k.op	2,5 kN

Pielet

Materiaali	Tiili
Käyttöaste ilman pieliteräksiä	
Puristuskestävyys	52 %
Reunapuristuskestävyys	65 %
Teräspielet	Kyllä
Valittu pieliteräs	UPE 80
Nurjahduskestävyyden käyttöaste	23 %

Huom!
Tarkasta jälkikiinnitysankurointi!

7. Excelistä saatava tuloste.

Vakioarvot

Lähtötiedot-välilehti

Seuraamusluokka	CC2
Trapetriskuorman maksimiarvo	
Pysyvä	1kN/m
Hyötykuorma	0kN/m
Lumi	0kN/m
Tasainen kuorma	
Pysyvä	0kN/m
Hyötykuorma	0kN/m
Lumi	0kN/m
Esitaivutetaanko	No

Profiili-välilehti

Palkinlaatu	IPE 80	HEA 100	HEB 100	HEM 100
Taipuman käyttöaste	10 %	3 %	2 %	1 %
Palkin leveys(mm)	46	100	100	106
Taivutuksen käyttöaste	15 %	4 %	3 %	1 %
Tcrit (C)	916	1107	1136	1136
Palkin omapaino	6	16,7	20,4	41,8

Valitse palkki

IPE 80

Pielet-valikko

Palkin päiden tukipinnan leveys	50mm
Palkin yläpuolen vapaa korkeus	100mm

Materiaali

Betoni	C16/20
Tiili	f_b 10 N/mm ²
Aukkoryhmä	1
Teräspielet	No
Valittu palkki	UPE 80