LUJA-PIENPAALUOHJE

KUIN KALLIOLLE RAKENTAISIT

08.01.2013

WWW.LUJABETONI.FI

Lujabetoni
VAHVIN BETONIOSAAJA

Sisällysluettelo

1 YLEISTÄ 4

2 KÄYTTÖKOHTEET 5

2.1 Suunnitellut käyttökohteet 5
2.2 Perustamisolosuhteet ja pohjatutkimukset 5
2.3 Suunniteltu käyttöikä ja rasitusluokka 5

3 MITAT, PAALUTYYPIT, MATERIAALIT JA VARUSTEET 6

3.1 Mitat ja toleranssit 6
3.1.1 Poikkileikkaus ja pituus 6
3.1.2 Toleranssit 6
3.1.3 Paalutyypit ja raudoitustapa 7
3.2 Materiaalit 8
3.3 Varusteet 8
3.4 Paaluihin tehtävät merkinnät 8

4 PAALUJEN VARASTOINTI JA KÄSITTELY 9

4.1 Paalun tuenta varastoinnin aikana 9
4.2 Paalun nosto ja pystyynnosto 9

5 PIENPAALUPERUSTUKSEN SUUNNITTELU 10

5.1 Paalun mitoitus ja kestävyydet 10
5.1.1 Luja-pienpaalun kestävyydet murtorajatilassa 10
5.1.2 Lyhyet paalut 12
5.2 Paalujen sijoitus 13
5.2.1 Paalujen katkaisutaso 13
5.2.2 Paalujen minimietäisyydet ja sijaintitoleranssit 13
5.3 Anturat 15
5.3.1 Nivelliitos anturaan 15
5.3.2 Jäykkä liitos anturaan 15
5.3.3 Yhden paalun antura 19
5.3.4 Kahden paalun antura 24
5.3.5 Jatkuva antura 26

6 Paalujen yhteisvaikutusdiagrammit 27

6.1 Paalujen yhteisvaikutusdiagrammit huomioiden nurjahdustuennan vaikutus 27
6.2 Paalujen yhteisvaikutusdiagrammit ilman nurjahdustuennan vaikutusta 32

7 PAALUTUSTYÖ 34
7.1 Yleistä 34
7.2 Soveltuva laitteisto 34
7.3 Paalutustyön lyöntivälikkeet 34
7.4 Paalujen jatkaminen 35
7.5 Paalujen katkaisu ja uusi paalupiste 35
7.6 Upotuslyönnit 36
7.6.1 Yleistä upotuslyönneistä 36
7.7 Loppulyönnit 37
7.7.1 Yleistä loppulyönneistä 37
7.7.2 Loppulyönnit paalutyyppi Lpp1 38
7.7.3 Loppulyönnit paalutyyppi Lpp2 38
7.7.4 Loppulyönnit paalutyyppi Lpp3 38
8 LAADUNVALVONTA, MITTAUKSET JA DOKUMENTOINTI 39
8.1 Yleistä 39
8.2 Materiaalien laadunvalvonta 39
8.3 Paalujen tarkastaminen ennen asennusta 39
8.4 Paalutustyön valvonta 39
8.5 Seuranta ja mittaukset asentamisen aikana 40
8.6 Mittaukset asentamisen jälkeen 40
8.7 Paalutuspöytäkirjamalli 42
Liite 1: Luja-pienpaalujen sallitut kuormat 43
Liite 2: Luja-pienpaalujen loppulyönnit eri murtorajatilan kestävyyksillä 44

1 YLEISTÄ

Tässä ohjeessa käsitellään Lujabetoni Oy:n lyömällä asennettavia teräsbetonisia Luja-pienpaaluja. Ohjeessa esitetään Luja-pienpaalun käyttökohteet, mitat, paalutyypit, materiaalit, varastointi, käsittely ja Luja-pienpaaluperustuksen suunnitteluohjeet sekä Luja-pienpaalujen asennusohjeet. Lisäksi ohjeessa on esitetty pienpaalun laadunvalvonta-asiat, mittaukset ja dokumentointi.

Luja-pienpaalut on suunniteltu seuraavien normien ja standardien mukaan:

- SFS-EN 1992-1-1 Eurokoodi 2. Betonirakenteiden suunnittelu
- SFS-EN 12794 + A1 Betonivalmisosat. Perustuspaalut
- SFS-EN 12699 Pohjarakennustyöt. Maata syrjäyttävät paalut
- SFS-EN 13369 Betonivalmisosien yleiset säännöt
- SFS-EN 14199 Pohjarakennustyöt. Pienpaalut
- Paalutusohje 2011

Edellä luetelluissa normeissa ja standardeissa esitetään vaatimuksia ja ohjeita paalujen ja paaluperustusten suunnittelua, asennusta ja valmistusta koskien. Tähän ohjeeseen on koottu tärkeimmät Luja-pienpaalua koskevat asiat edellä luetelluista normeista ja standardeista.

Luja-pienpaalut ja niissä käytettävät jatkokset, kalliokärjet ja muut osat valmistetaan teollisesti.

2 KÄYTTÖKOHTEET

2.1 Suunnitellut käyttökohteet

Luja-pienpaaluja voidaan käyttää pientalojen, rivitalojen, kerrostalojen, teollisuusrakennusten, putkikaivantojen, liikenneväylien yms. perustamisessa. Luja-pienpaaluja käytetään pääasiassa tukipaaluina ja paalutustyöluokkana on yleensä PO2011 mukainen paalutustyöluokka 2 (PTL2).

2.2 Perustamisolosuhteet ja pohjatutkimukset

Luja-pienpaaluja käytettäessä pohjatutkimuksen yleisiä vaatimuksia koskevat standardit SFS-EN 1997-1 ja SFS-EN 1997-2 sekä huomioon otettavat kansalliset asiakirjat. Yksityiskohtaisia ohjeita ja suosituksia pohjatutkimuksista annetaan Paalutusohjeessa 2011 (PO2011).

2.3 Suunniteltu käyttöikä ja rasitusluokka

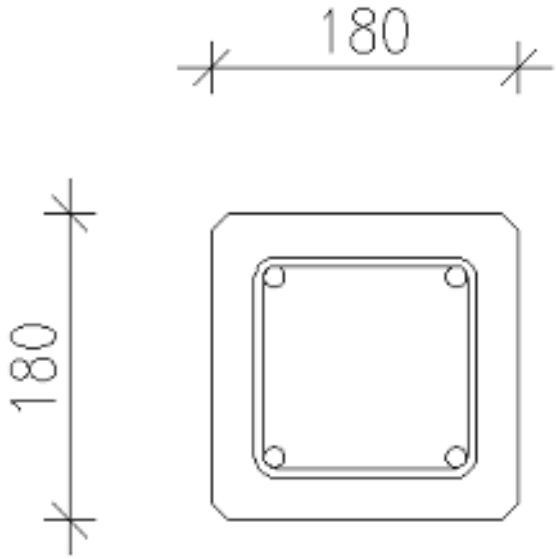
Luja-pienpaalujen suunniteltu käyttöikä on 100 vuotta. Luja-pienpaalujen betonipeite-etäisyydet ja materiaalit on suunniteltu rasitusluokan XC2 mukaisten vaatimusten mukaan. Paalu voidaan suunnitella ja valmistaa tarvittaessa myös muihin rasitus- ja käyttöikäluokkiin.

3 MITAT, PAALUTYYPIT, MATERIAALIT JA VARUSTEET

3.1 Mitat ja toleranssit

3.1.1 Poikkileikkaus ja pituus

Luja-pienpaalun poikkileikkausmitat ovat 180mm x 180mm.



Kuva 1. Luja-pienpaalun poikkileikkaus

Luja-pienpaalua valmistetaan ja toimitetaan 6m pituisina paaluelementteinä, jotka liitetään työmaalla toisiinsa paalujatkoksilla. Paalun paino on 83kg/m (0,83kN/m).

3.1.2 Toleranssit

Luja-pienpaalun toleranssit on esitetty taulukossa 1.

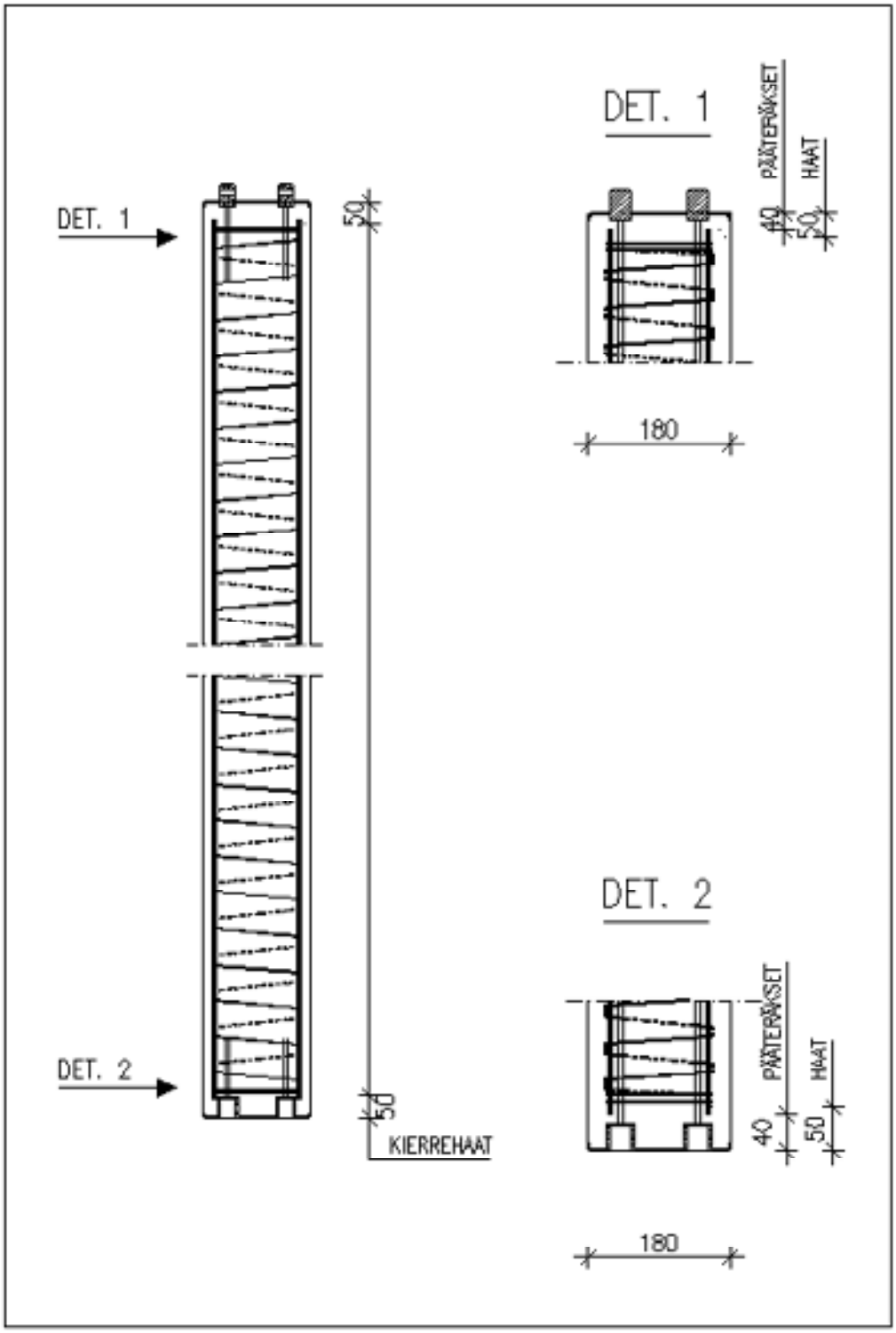
Taulukko 1. Luja-pienpaalun mittatoleranssit

Paalun sivumitta	-5mm; +15mm
Paalun pituus	± 100mm
Paalun pään vinous paalun akselia vastaan kohtisuorasta tasosta	1:100
Paalun varren akselin suoruus	± 20mm
Jatkoskappaleen päätytason vinous	1:150

3.1.3 Paalutyypit ja raudoitustapa

Luja-pienpaaluja valmistetaan kolmea eri tyyppiä Lpp1, Lpp2 ja Lpp3. Luja-pienpaalutyyppejä Lpp1 ja Lpp2 valmistetaan varastoon. Lpp3 on erikoispaalu, jota valmistetaan tilauksesta.

Paalutyyppien kestävyydet ovat erilaiset (vrt. taulukko 2 ja kuvat 25–33). Suunnittelija merkitsee valitun paalutyypin piirustuksiin.



Kuva 2. Luja-pienpaalun raudoitustapa

3.2 Materiaalit

Luja-pienpaalun betoniluokka on C40/50 tai C50/60. Pääterästen materiaali on A500HW tai A700HW ja hakaterästen materiaali on B400.

Betonin lujuuden paalua lyötäessä tulee olla ≥ nimellislujuus. Lujuuden määritys tehdään rakennekoekappaleilla käyttäen 7 vrk:n arvosteluikää.

3.3 Varusteet

Paalujen jatkamiseen käytetään Luja-pienpaalulle suunniteltua paalujatkosta. Paalutyypin Lpp1 yhteydessä käytetään 1-lukkoista paalujatkosta. Paalutyyppien Lpp2 ja Lpp3 yhteydessä käytetään 2-lukkoista paalujatkosta.

Paalun alapäässä käytetään tarvittaessa paalukärkeä. Paalukärki on jälkiasennettava ns. rakenneteräskalliokärki, jolla paalu voidaan lyödä lohkareiseen maahan sekä ohueen pohjamoreeniin.

3.4 Paaluihin tehtävät merkinnät

Paaluihin merkitään nostokohdat nostoa ja tuentakohdat varastointia ja kuljetusta varten.

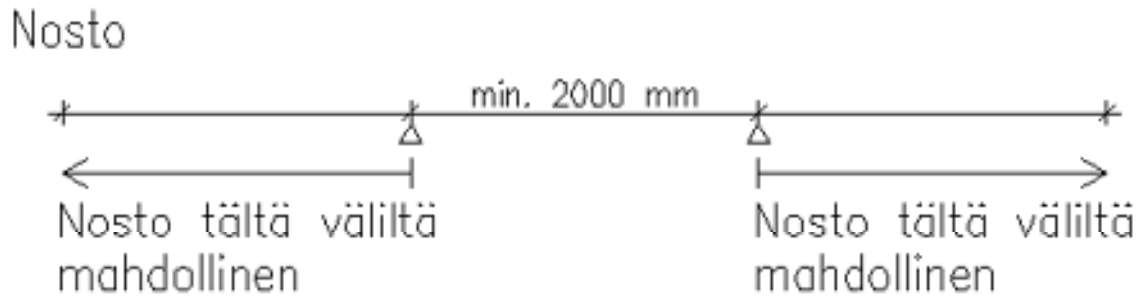
4 PAALUJEN VARASTOINTI JA KÄSITTELY

4.1 Paalun tuenta varastoinnin aikana

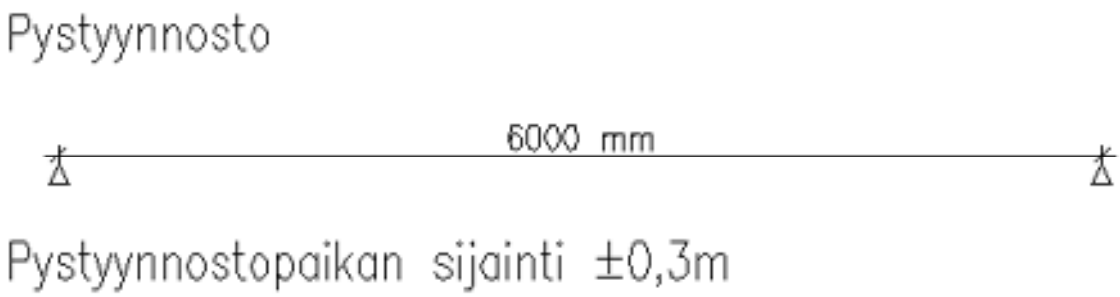
Paalu tuetaan varastoinnin ja kuljetuksen ajaksi tasaisesti koko matkaltaan tai 0,2L (=1,2m) ±0,3m etäisyydeltä paalun päistä.

4.2 Paalun nosto ja pystyynnosto

Paalu nostetaan ketjulla, liinoilla tai trukkihaarukalla noudattaen työturvallisuusohjeita. Paalun nosto, ks. kuva 3. Paalu nostetaan lyöntiä varten pystyyn paalun päästä, ks. kuva 4.



Kuva 3. Paalun nostopaikkojen sijainnit



Kuva 4. Paalun pystyynostopaikan sijainti

5 PIENPAALUPERUSTUKSEN SUUNNITTELU

5.1 Paalun mitoitus ja kestävyydet

5.1.1 Luja-pienpaalun kestävyydet murtorajatilassa

Tässä esitetyt paalun murtorajatilan kestävyydet on laskettu käyttäen seuraavia laskentaolettamuksia:

-Paalujen mitoitus on tehty PO 2011 mukaisesti.

-Kaikkien paalujen todellinen painuma (ja jousto) mitataan. Kaikki paalut saavuttavat vähintään kohdassa 7.6 annetun loppulyöntiehdon. Ylärakenne toimii yleensä jäykästi eli saman paaluryhmän kuormat pystyvät siirtymään paalulta toiselle.

Näillä laskentaolettamuksilla saadaan Luja-pienpaalulle taulukossa 2 esitetyt murtorajatilan kestävyysarvot.

Rakennuskohteen perustussuunnittelija määrittää paaluille tulevat kuormat eurokoodien kuormitusohjeiden ja osavarmuuskertoimien mukaisesti ja valitsee paalujen lukumäärän ja sijainnit. Luja-pienpaaluperustus tulee suunnitella siten, ettei paaluille tule vetokuormituksia. Paaluanturoiden koot määritetään ottaen huomioon kohdan 5.2. mukaiset reunaetäisyydet ja sijaintitoleranssit.

Paalutuksen jälkeen mitataan pienpaalujen todelliset sijainnit, joiden perusteella lasketaan lopulliset paaluvoimat. Mikäli pienpaalujen todellisten sijaintien mukaiset lopulliset paaluvoimat ylittävät kohteessa käytettyjen paalujen kestävyydet, tulee kohteeseen suunnitella lisää paaluja. Mikäli kohdan 5.2.2 mukaiset minimireunaetäisyydet eivät pienpaalujen todellisten sijaintien mukaan täyty, tulee paaluanturoiden kokoa kasvattaa. Paaluanturoiden lopullinen raudoitus tulee suunnitella pienpaalujen todelliset sijainnit ja paaluanturoiden lopullinen koko huomioiden.

Taulukko 2. Luja-pienpaalun murtorajatilan kestävyydet (keskeinen kuormitus)

Paalutyyppi Lpp1						
Alkutaipuma δ_0	$P_{d;s}$ [kN] Maan suljettu leikkauslujuus, c_{uk} [kPa]			$R_{d,geo,max}$ [kN]		
	5	7	10	PTL1	PTL2	PTL3
$L_{cr}/300$	A	A	A	239	263	1)
$L_{cr}/150$	234	A	A			
Paalutyyppi Lpp2						
Alkutaipuma δ_0	$P_{d;s}$ [kN] Maan suljettu leikkauslujuus, c_{uk} [kPa]			$R_{d,geo,max}$ [kN]		
	5	7	10	PTL1	PTL2	PTL3
$L_{cr}/300$	A	A	A	306	337	374
$L_{cr}/150$	319	A	A			
Paalutyyppi Lpp3						
Alkutaipuma δ_0	$P_{d;s}$ [kN] Maan suljettu leikkauslujuus, c_{uk} [kPa]			$R_{d,geo,max}$ [kN]		
	5	7	10	PTL1	PTL2	PTL3
$L_{cr}/300$	A	A	A	331	364	405
$L_{cr}/150$	349	A	A			

1) Paalutyyppiä Lpp1 ei käytetä paalutustyöluokassa PTL3.

Taulukossa 2 käytetyt merkinnät:

-$P_{d;s}$ [kN] = paalun nurjahdusmurtokestävyys maan murtuessa. Taulukossa varmuuskerroin maan murtumista vastaan on 1,5.

-Merkintä A tarkoittaa, että paalun kestävyyden määrää $R_{d,geo,max}$.

-Alkutaipuma δ_0 = paalun geometrinen alkutaipuma nurjahdustarkasteluissa

Paalutyyppi	Alkutaipuma δ_0
Jatkamaton	$L_{cr}/300$
Jatkettu	$L_{cr}/150$

-Tavallisesti käytetään alkutaipumaa $L_{cr}/150$ (jatkettu paalu).
-Maan suljettu leikkauslujuus, c_{uk} [kPa] = maan suljettu leikkauslujuus maaperätutkimusten perusteella.

-$R_{d,geo,\ max}$ [kN] = paalun suurin lyömällä osoitettavissa oleva murtorajatilan kestävyys eri paalutusluokissa.

Taulukon 2 käyttö:

Paalun käytettävää murtorajatilan kestävyyttä rajoittaa samanaikaisesti paalutusluokan mukainen $R_{d,geo,max}$ –arvo ja maan suljetun leikkauslujuuden arvosta ja paalun jatkoksista riippuvainen nurjahdusmurtokestävyys $P_{d;s}$.

Esim. Lpp2, jatkettu paalu, paalutustyöluokka PTL2, maan suljettu leikkauslujuus 5 kPa:

$R_{d,geo,max}$ = 337kN, $P_{d;s}$ = 319kN -> käytettävä P_d = 319kN.

Epäkeskeisen kuorman vaikutus paalun kestävyyteen erilaisissa maaperissä (c_{uk} erilainen) otetaan huomioon kohdan 6 mukaisesti.

Luja-pienpaalujen sallitut kuormat, kun pysyvän ja muuttuvan kuorman suhde on 50% / 50%, on esitetty liitteessä 1.

5.1.2 Lyhyet paalut

Jos paalut ovat lyhyitä (< 5m) eikä niitä ympäröivä maa anna riittävää sivutukea, tarkistetaan sivusuuntaisen tuennan riittävyys sallittujen kaltevuuspoikkeamien suhteen PO2011 ohjeiden mukaisesti.
Pienin hyväksytty Luja-pienpaalun hyötypituus asennettuna on 1,5m.

Lyhyet 1,5 – 3m paalut kiinnitetään anturaan yleensä jäykästi. Jäykkä liitos tehdään kohdan 5.3.2 mukaan. Jäykkää liitosta käytettäessä tulee paalun pään momenttikestävyys tarkistaa kohdan 6 yhteisvaikutusdiagrammeilla.

Mikäli käytetään alle 5 m paaluelementtejä ja suunniteltu paalupituus on alle 5 m, on paalujen asennuksessa noudatettava erityistä varovaisuutta ja lopetuslyönnit suoritetaan kohdan 7.7 taulukkojen mukaan, noudattaen ≤ 5 m paalupituus saraketta.

5.2 Paalujen sijoitus

5.2.1 Paalujen katkaisutaso

Paalujen katkaisutaso on se + korko, josta paalut katkaistaan.

Nivelliitos paalun ja anturan välissä:

Tavallisesti Luja-pienpaalut katkaistaan siten, että ne ulottuvat 50mm paaluanturaan, ellei rakenteen suunnittelu tai paalujen kiinnittyminen paaluanturaan muuta edellytä.

Jäykkä liitos paalun ja anturan välissä:

Mikäli Luja-pienpaalut halutaan liittää jäykästi anturaan, paalujen katkaisutaso on 50mm paaluanturan alapinnasta ylöspäin lisättynä Luja-pienpaalun pääterästen ankkurointipituudella kuvan 7 mukaisesti tai paalu upotetaan anturaan kuvan 8 mukaisesti tai paaluun porataan jälkikiinnityksenä harjateräs kuvan 9 mukaisesti.

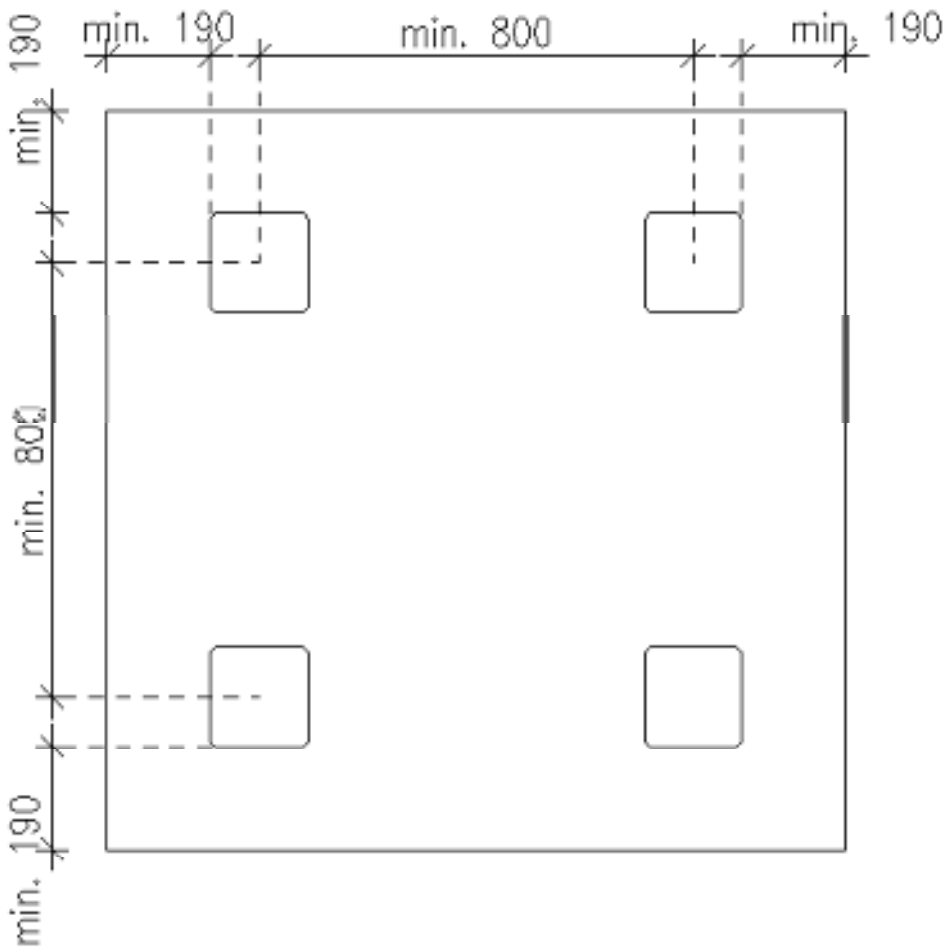
Luja-pienpaalujen katkaisutaso ja mahdollinen jäykkä liitos paaluanturaan tulee esittää paalutussuunnitelmassa.

5.2.2 Paalujen minimietäisyydet ja sijaintitoleranssit

Luja-pienpaalujen minimikeskiöetäisyys on 0,8m.

Luja-pienpaalujen paalun ulkopinnan minimietäisyys paaluanturan reunasta on 0,19m.

Luja-pienpaaluperustuksen paaluille tulevien kuormitusten ja paaluanturoiden suunnittelussa tulee huomioida paalujen sijaintitoleranssit. Jos suunnitelmien mukaiset sallitut sijaintitoleranssit ylitetään, tulee jokaisen rakenteen osan kestävyys tutkia ja tarvittaessa lisätä paalujen määrää tai vahvistaa paaluanturoita.



Kuva 5. Luja-pienpaalujen minimireuna- ja -keskiöetäisyydet

Luja-pienpaalujen minimietäisyydet muista rakenteista suunnitellaan kussakin tapauksessa erikseen ottaen huomioon paalutuksen, pohjasuhteiden ja ympäröivien rakenteiden aiheuttamat erityisvaatimukset ja rajoitukset.

Luja-pienpaalun asennustoleranssit:

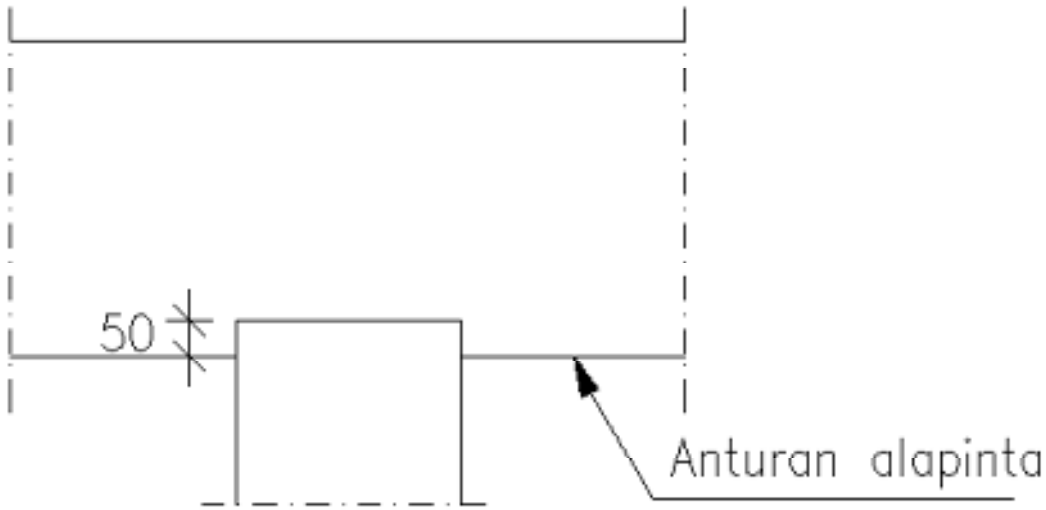
- yksittäinen paalu $e_1 \leq e_{1(tavoite)} = 0{,}05m$, $e_1 \leq emax = 0{,}10m$
- paaluryhmän painopisteen $e_2 \leq e_{2max} = 0{,}05m$
- paalurivin yksittäisen paalun $e_3 \leq e_{3(tavoite)} = 0{,}10m$, $e_3 \leq e_{3max} = 0{,}15m$ kuitenkin koko rivin painopisteen $e_2 \leq e_{2max} = 0{,}05m$ riviin nähden kohtisuorassa suunnassa
- yksittäiset pystypaalut $i \leq i_{max} = 0{,}04$ (0,04m/m)
- samansuuntaisten paalujen ryhmässä $i \leq i_{max} = 0{,}02$ (0,02m/m)

e = poikkeama vaakatasossa mitattuna työskentelytasolta
i = poikkeamakulman (paalun suunnitellun ja toteutuneen keskilinjan välisen kulman) tangentti

5.3 Anturat

5.3.1 Nivelliitos anturaan

Usean paalun paaluanturoilla ja jatkuvilla paaluanturoilla Luja-pienpaalu liitetään normaalisti anturaan kuvan 6 mukaisella nivelellisellä liitoksella. Kuvan 6 mukainen liitos ei siirrä momentteja anturan ja paalun välillä.

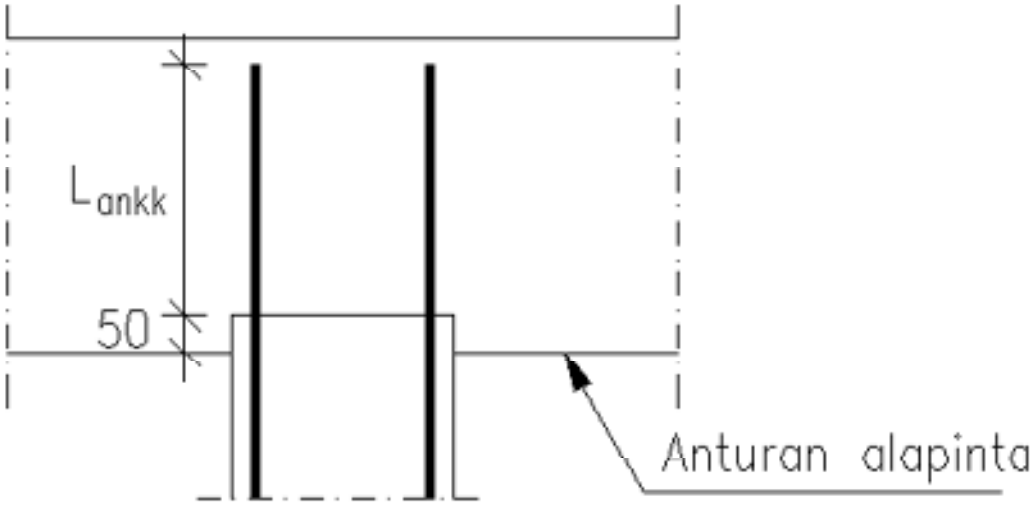


Kuva 6. Luja-pienpaalun nivelliitos anturaan

5.3.2 Jäykkä liitos anturaan

5.3.2.1 Pääterästen paljastaminen

Luja-pienpaalu voidaan tarvittaessa liittää jäykästi paaluanturaan. Tämä on yleensä tarpeen yhden paalun anturoilla mikäli anturan yläpuolinen rakenne (yl. sokkeli) ei ole liitetty jäykästi anturaan. Luja-pienpaalun liittäminen jäykästi anturaan tehdään yleensä katkaisemalla paalu kuvan 7 mukaisesti. Pienpaalun katkaisutaso on silloin anturan alapinta + 50mm + vaadittava ankkurointipituus L_{ankk} taulukon 3 mukaan. Pääteräkset paljastetaan kokonaan ankkurointipituudelta ennen paaluanturan valua. Pääteräksiä voidaan tällä ankkurointipituudella tarvittaessa taivuttaa käyttäen taivutussäteenä taulukon 3 mukaisia arvoja.



Kuva 7. Luja-pienpaalun kiinnitys jäykästi anturaan

Taulukko 3. Pääterästen ankkurointipituudet paaluanturaan

Paalutyyppi	Ankkurointipituus L_{ankk} [mm], paaluanturan betoni ≥ C25/30	Taivutussäde [mm]
Lpp1	600	120
Lpp2	700	150
Lpp3	800	180

Jos Luja-pienpaalu kiinnitetään jäykästi paaluanturaan, joudutaan paalun puristuskestävyyttä pienentämään jäykästä kiinnityksestä aiheutuvan momenttirasituksen vuoksi. Pienpaaluun kohdistuvan momenttirasituksen suuruus riippuu kuormituksen epäkeskisyydestä ja se lasketaan tapauskohtaisesti erikseen. Momenttirasituksen vaikutus Luja-pienpaalun puristuskestävyyteen voidaan ottaa huomioon kohdan 6.1 yhteisvaikutusdiagrammien avulla.

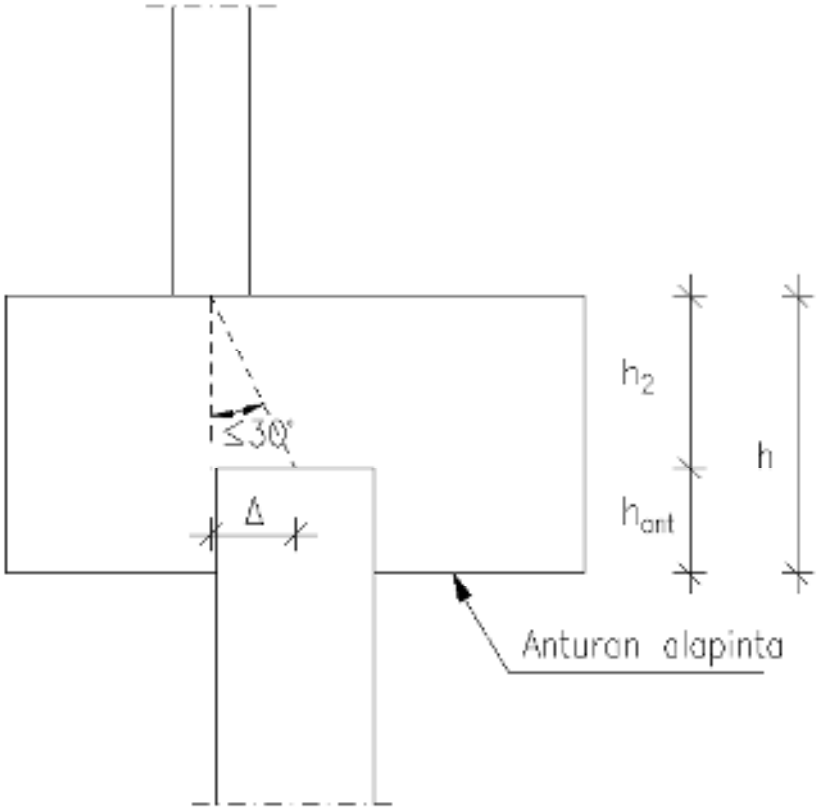
Kohdan 6.2 yhteisvaikutusdiagrammeissa on esitetty paalurakenteen kestävyyskäyrästö kun paalun nurjahduksen ja maan lujuuden vaikutusta ei huomioida paalun kestävyydessä. Käyrästön avulla tarkistetaan paalun yläpään kestävyys kun käytetään jäykkää liitosta paalun ja anturan välillä.

Liitettäessä Luja-pienpaaluja momenttia siirtävällä liitoksella anturaan tulee suunnittelijan tarkistaa, ettei normaalivoiman ja momentin yhteisvaikutus ylitä yhteisvaikutusdiagrammeissa annettuja arvoja. Normaalivoiman ja momentin murtorajatilan mitoitusarvojen tulee sijaita yhteisvaikutusdiagrammien kuvaajien sisäpuolella.

5.3.2.2 Paalun asennus syvemmälle anturaan

Toinen tapa tehdä momenttia siirtävä liitos Luja-pienpaalun ja anturan välille on esitetty kuvassa 8 ja taulukossa 4. Tässä tavassa Luja-pienpaalun asennussyvyys anturaan on suurempi kuin nivelliitoksessa mutta teräksiä ei paljasteta. Paalun ja anturan välinen liitos siirtää momenttirasitukset betonin puristuksena paalun sivuilla.

Käytettäessä taulukon 4 mukaisia momenttiliitoksen kapasiteettiarvoja tulee huomioida myös kohdan 6 yhteisvaikutusdiagrammit.



Kuva 8. Luja-pienpaalun momenttiliitos anturaan, paalun asennus syvemmälle anturaan

Taulukko 4. Luja-pienpaalun momenttiliitos anturaan, paalun asennus syvemmälle anturaan

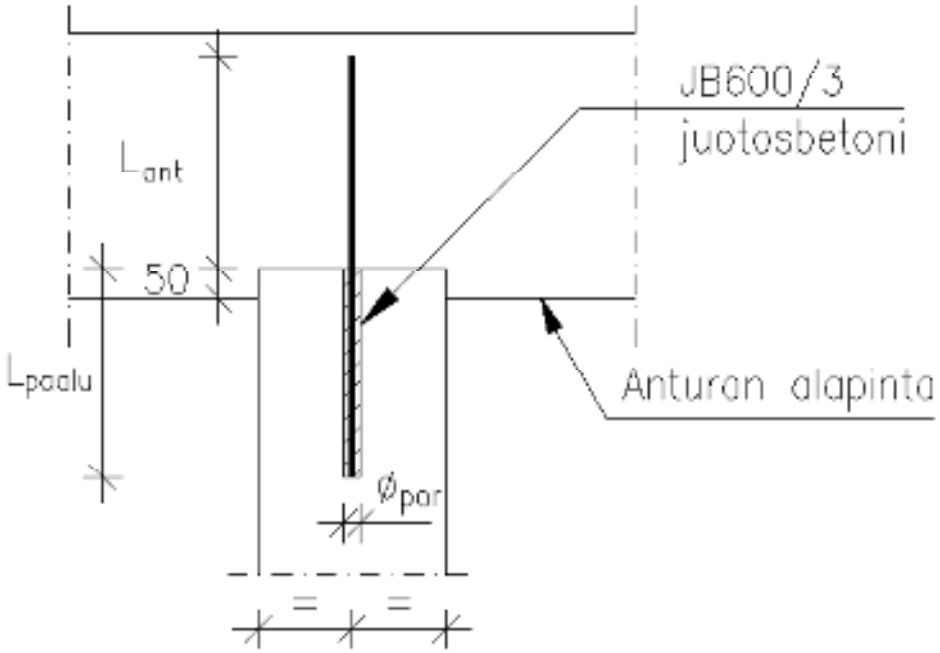
Paalun upotus-syvyys anturaan h_{ant} [mm]	Anturan minimi-korkeus paalun yläpuolella h_2 [mm]	Anturan minimi-korkeus h [mm]	Paalun ja kuormituksen maksimi-epäkeskisyys Δ [mm]	Paalun ja anturan liitoksen momenttikestävyys M_{ud} [kNm], paaluanturan betoni ≥ C25/30
200	200	400	50	3,6
300		500	100	5,4
400		600	100	7,3
500		700	100	7,6

Anturan raudoitus mitoitetaan paalun ja anturan liitoksen momenttikestävyyden sekä muiden anturaan kohdistuvien rasitusten mukaisesti.

5.3.2.3 Paalun keskelle asennettava harjateräs

Momenttia siirtävä liitos Luja-pienpaalun ja anturan välille voidaan tehdä myös kuvan 9 ja taulukoiden 5 ja 6 mukaisella tavalla. Tässä momenttiliitostavassa katkaistun paalun keskelle porataan reikä, johon asennetaan harjateräs käyttämällä juotosbetonia. Tätä tapaa käytetään silloin, kun momenttiliitoksen tarve havaitaan vasta paalutuksen toteutuneiden mittapoikkeamien vuoksi tai silloin, kun siirrettävät momenttikuormitukset ovat verrattain pieniä. Taulukossa 5 annetaan erilaisten harjateräksen kokojen mukaiset liitoksen momenttikestävyydet ja ankkurointipituudet paaluanturassa. Keskelle asennettava harjateräs tulee ankkuroida paaluun esim. käyttämällä JB 600/3 juotosbetonia ja taulukon 6 mukaisia porareiän halkaisijoita ja porareiän syvyyksiä.

Käytettäessä taulukon 6 mukaisia momenttiliitoksen kapasiteettiarvoja tulee huomioida myös kohdan 6 yhteisvaikutusdiagrammit.



Kuva 9. Luja-pienpaalun momenttiliitos anturaan, keskelle paalua asennettava harjateräs

Taulukko 5. Luja-pienpaalun momenttiliitos anturaan, keskelle asennettava harjateräs, ankkurointipituus anturaan

Keskelle asennettavan harjateräksen halkaisija (materiaali A500HW) [mm]	Harjateräksen ankkurointipituus anturaan L_{ant} [mm], paaluanturan betoni ≥ C25/30
10	600
12	700
16	950
20	1150

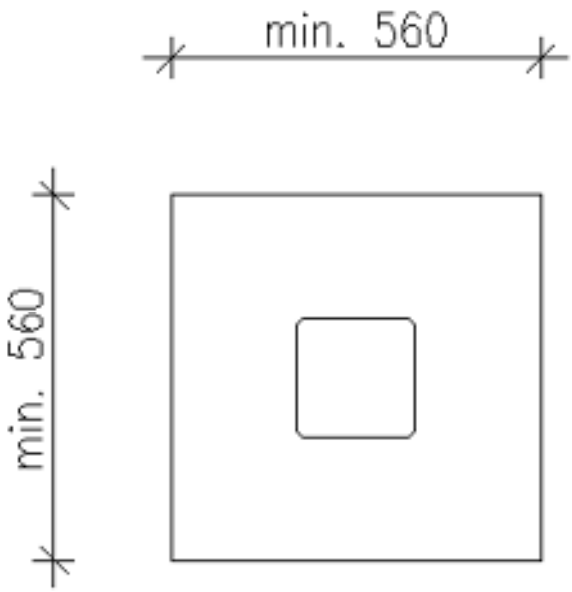
Taulukko 6. Luja-pienpaalun momenttiliitos anturaan, keskelle asennettava harjateräs, ankkurointi paaluun, JB 600/3 Juotosbetoni

Keskelle asennettavan harjateräksen halkaisija (materiaali A500HW) [mm]	Liitoksen momenttikestävyys M_{ud} [kNm]	Poraussyvyys L_{paalu} [mm]	Porareiän halkaisija $Ø_{por}$ [mm]
10	2,8	425	33
12	4,0	510	36
16	6,5	675	41
20	7,6	845	46

5.3.3 Yhden paalun antura

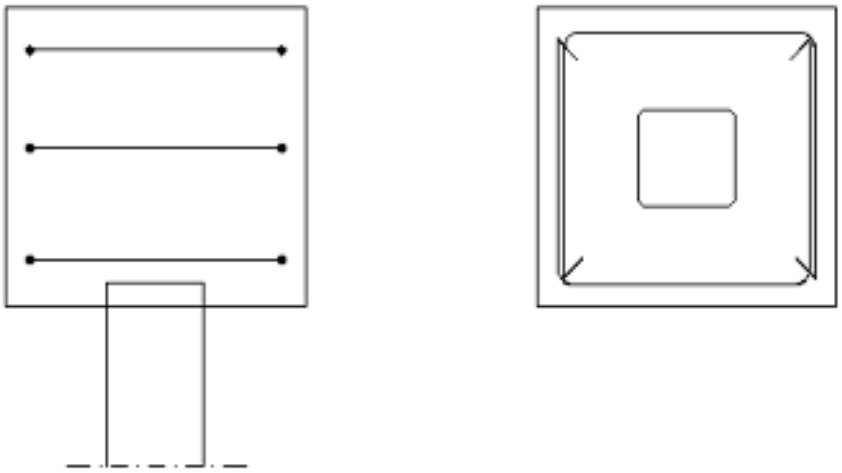
Mikäli anturan yläpuolinen rakenne (yl. sokkeli) on liitetty jäykästi anturaan, voidaan Luja-pienpaalu liittää anturaan nivelliitoksella. Luja-pienpaalun kestävyyttä määritettäessä tulee ottaa huomioon mahdollisesta voiman epäkeskisyydestä aiheutuva momenttirasitus kohdan 6.1 yhteisvaikutusdiagrammien mukaan.

Luja-pienpaaluja käytettäessä yhden paalun paaluanturan minimimitat ovat kuvan 10 mukaiset. Kohteen rakennesuunnittelijan tulee valita paaluanturoiden koko ottaen huomioon paalutusolosuhteiden vaikutus pienpaalujen sijaintipoikkeamiin.

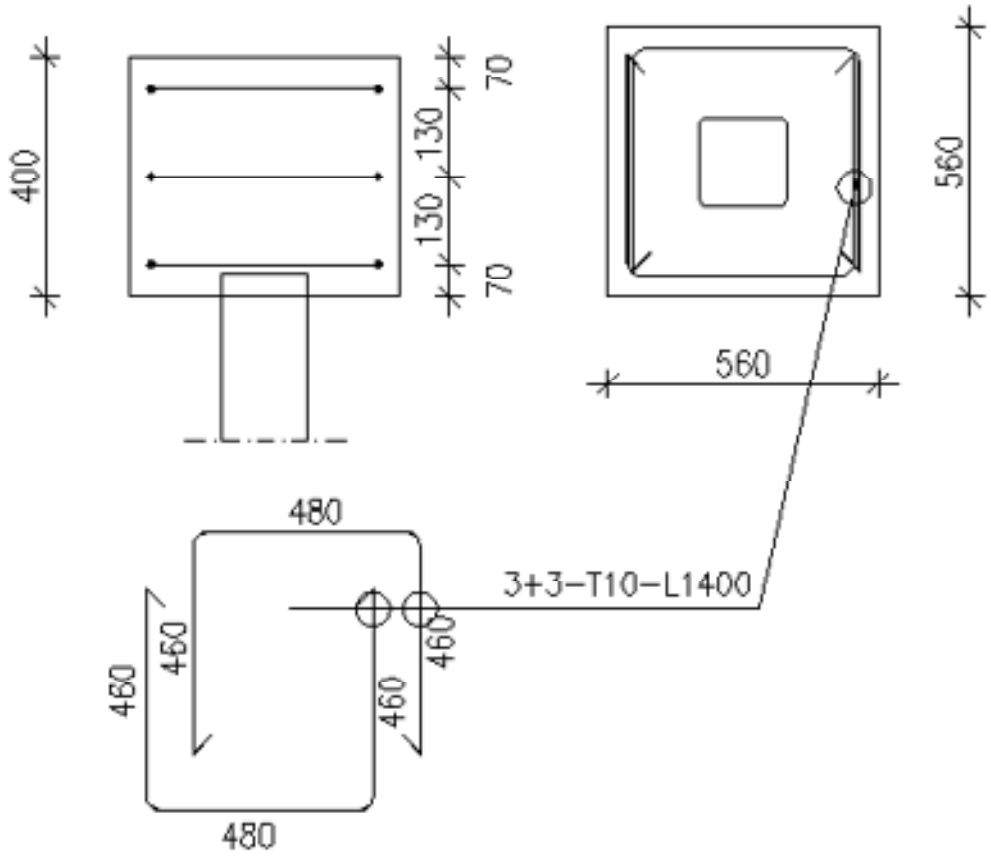


Kuva 10. Yhden paalun anturan minimimitat Luja-pienpaalulla

Yhden paalun anturan raudoitus tulee tehdä kuvassa 11 esitetyn raudoitusperiaatteen mukaisesti. Anturan raudoitus tulee suunnitella kaikille anturaan kohdistuville voimille. Erityistä huomiota tulee kiinnittää anturan raudoituksen suunnitteluun jos Luja-pienpaalu kiinnitetään yhden paalun anturaan jäykällä liitoksella.



Kuva 11. Yhden paalun anturan raudoitusperiaate

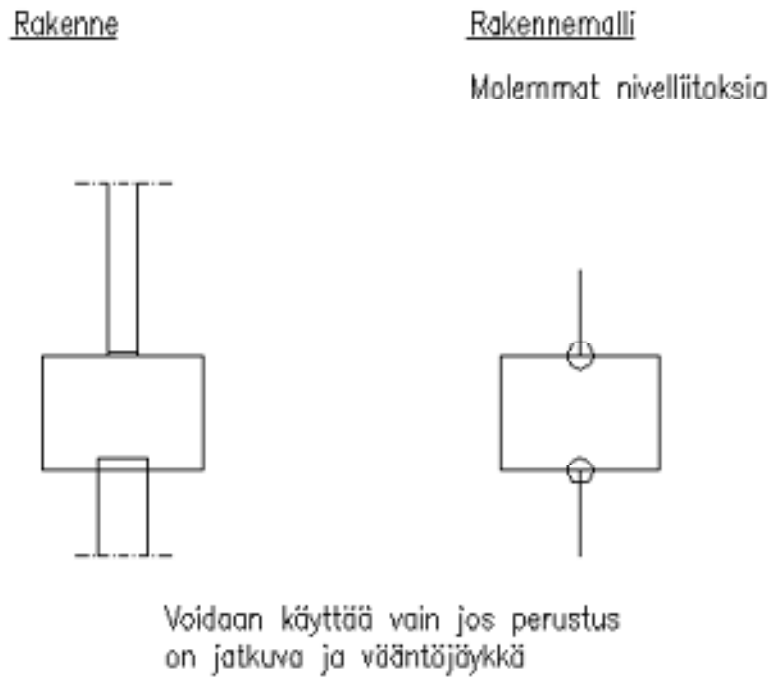


Kuva 12. Yhden paalun anturan malliraudoitusesimerkki

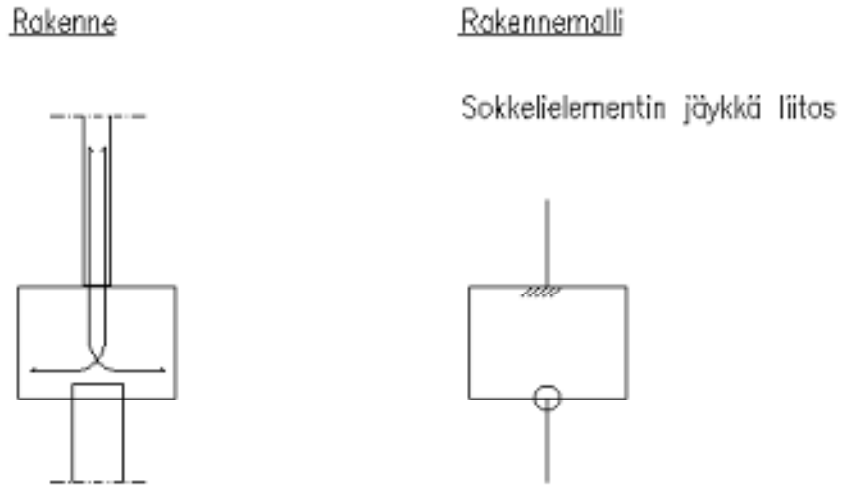
Anturan raudoitus on aina suunniteltava tapauskohtaisesti huomioiden anturaan kohdistuvat rasitukset ja tarvittavat suojabetonietäisyydet, kuvassa 12 esitettyä malliraudoitusta ei voida suoraan käyttää anturan raudoituksena tarkistamatta raudoituksen riittävyyttä.

5.3.3.1 Yhden paalun anturan paaluperustusten rakenteita ja rakennemalleja

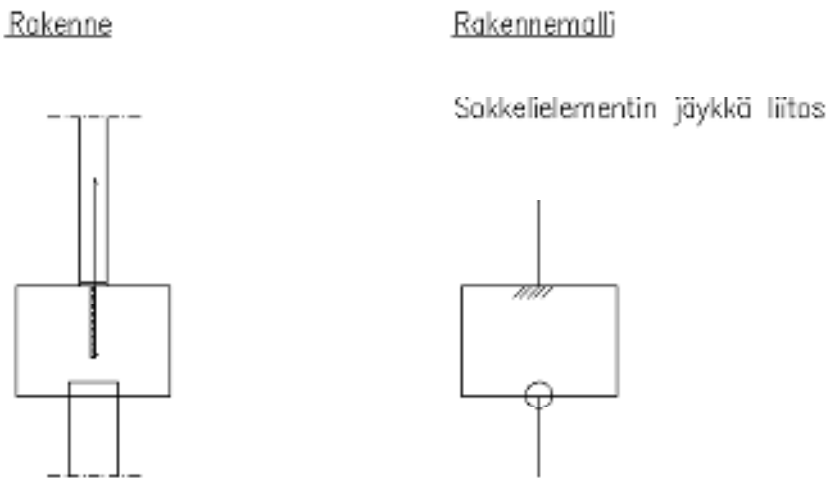
Mikäli käytetään yhden paalun anturoita, tulee joko sokkelielementti tai Luja-pienpaalu kiinnittää anturaan jäykästi. Jäykän liitoksen momenttikestävyyden tulee olla suurempi kuin liitoksen murtorajatilan mitoitusmomentti. Luja-pienpaalun jäykkä liitos yhden paalun anturaan voidaan tehdä kohdan 5.3.2 mukaan. Kuvissa 13-20 esitetään periaatepiirustus sokkelielementtiperustuksesta yhden paalun anturalla ja mahdolliset rakennemallit.



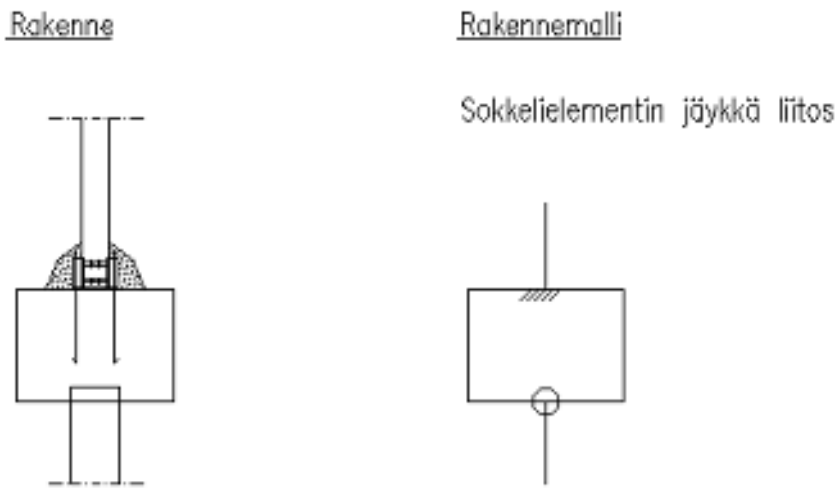
Kuva 13. Sokkelielementin liitos yhden paalun anturaan, molemmat nivelliitoksia



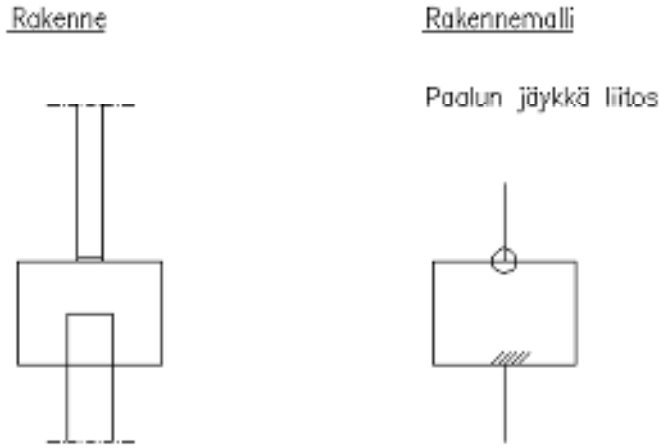
Kuva 14. Sokkelielementin liitos yhden paalun anturaan, sokkelielementin jäykkä liitos, anturan valuun asennettavat tartunnat



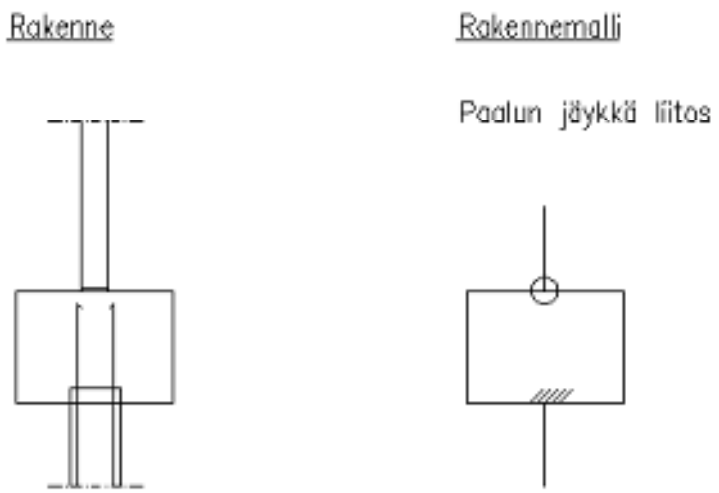
Kuva 15. Sokkelielementin liitos yhden paalun anturaan, sokkelielementin jäykkä liitos, anturaan porattava tartunta



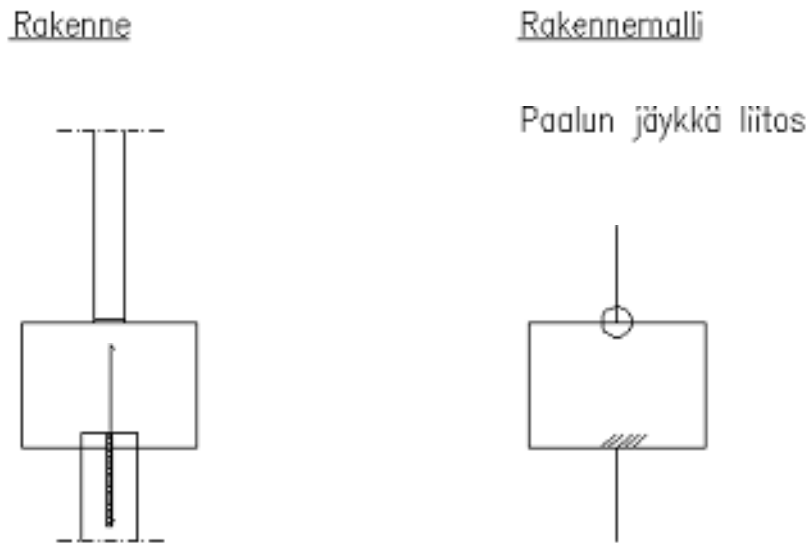
Kuva 16. Sokkelielementin liitos yhden paalun anturaan, sokkelielementin jäykkä liitos, anturassa harjateräkset, sokkelielementissä tartuntalevyt, hitsaus



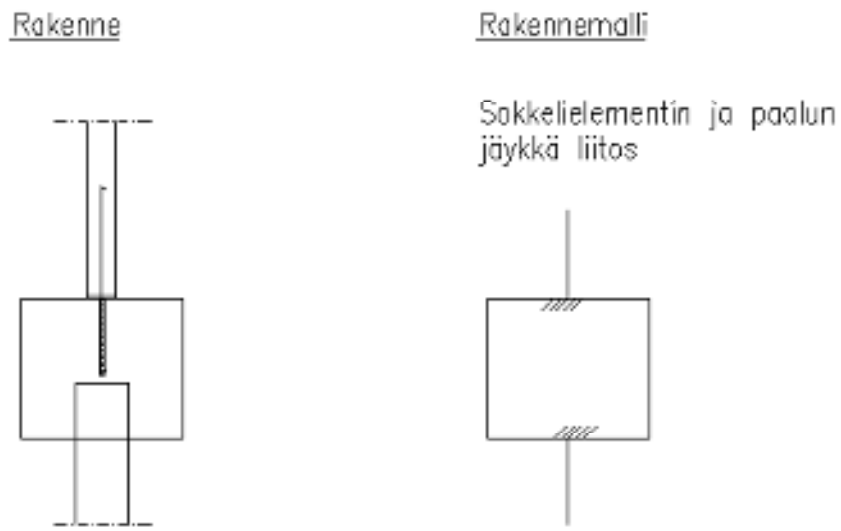
Kuva 17. Sokkelielementin liitos yhden paalun anturaan, paalun jäykkä liitos, paalun paaluun asennus syvemmälle anturaan



Kuva 18. Sokkelielementin liitos yhden paalun anturaan, paalun jäykkä liitos, paalun pääterästen paljastaminen



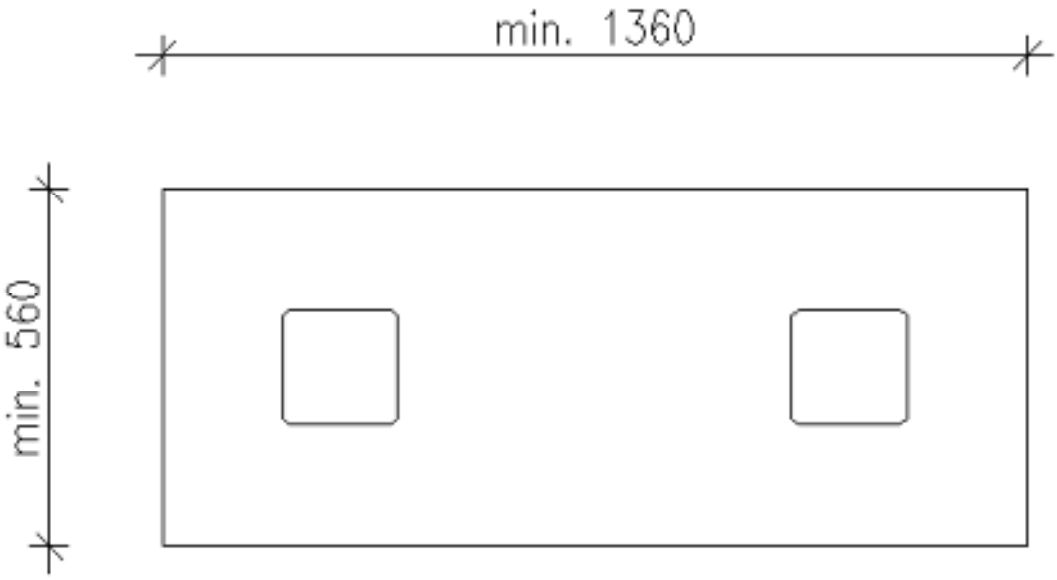
Kuva 19. Sokkelielementin liitos yhden paalun anturaan, paalun jäykkä liitos, paaluun porattava tartunta



Kuva 20. Sokkelielementin liitos yhden paalun anturaan, sokkelielementin ja paalun jäykkä liitos, anturaan porattava tartunta ja paalun asennus syvemmälle anturaan

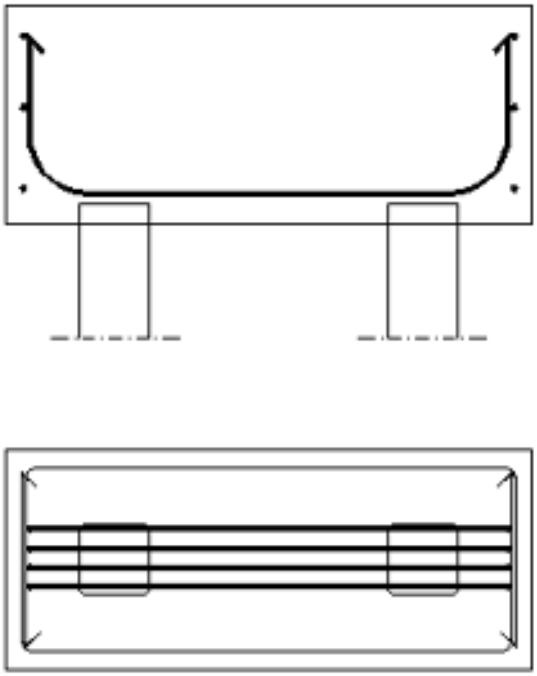
5.3.4 Kahden paalun antura

Paalutettavan jatkuvan seinän alla suositellaan käytettäväksi kahden paalun anturoita. Kahden paalun antura on vakaa ja paalu voidaan yleensä liittää nivelellisesti paaluanturaan.

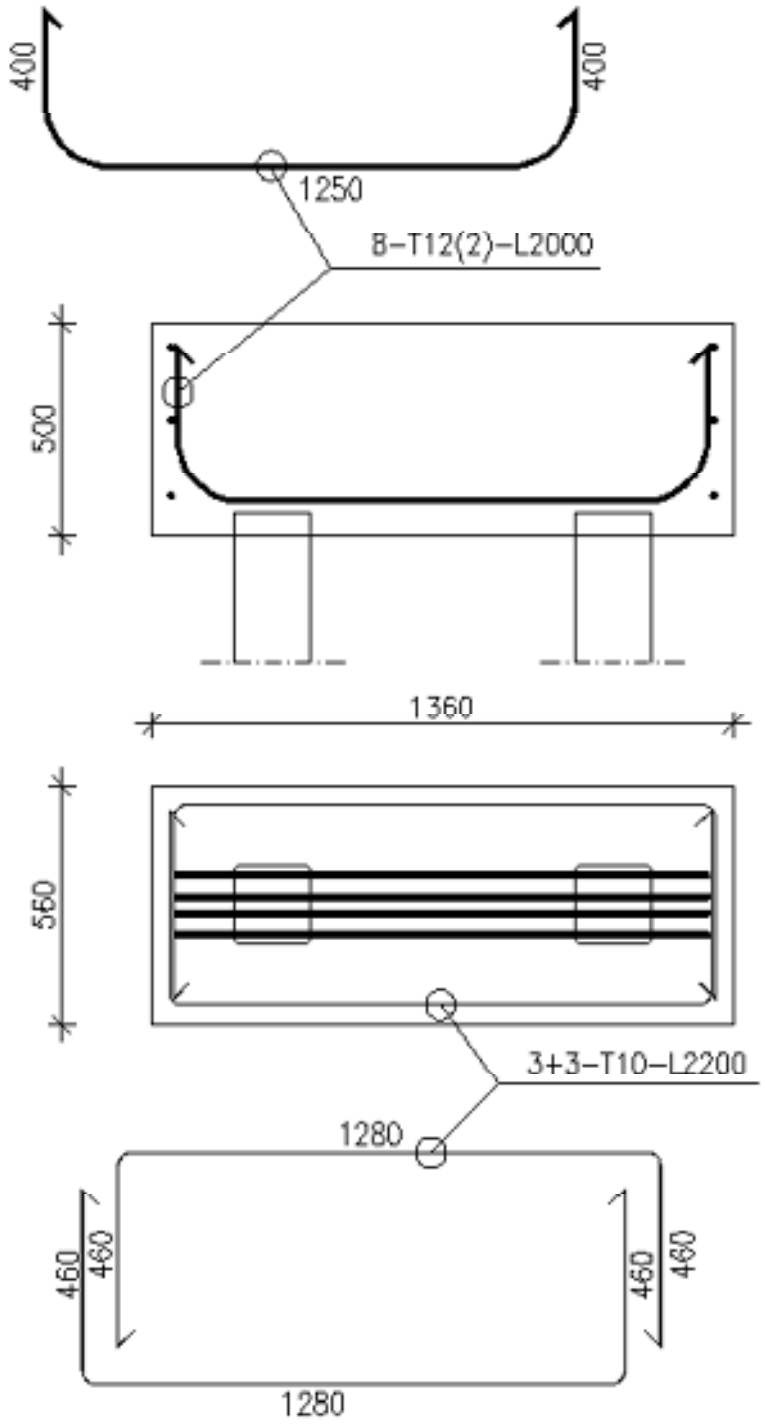


Kuva 21. Kahden paalun anturan minimimitat Luja-pienpaaluilla

Kahden paalun anturan raudoitus tulee tehdä kuvassa 22 esitetyn raudoitusperiaatteen mukaisesti. Anturan alapinnan raudoitus tulee viedä paalulta toiselle ja ankkuroida paalun reunalinjan ulkopuolelle. Anturan alapinnan raudoitus keskitetään paalujen kohdalle.



Kuva 22. Kahden paalun anturan raudoitusperiaate



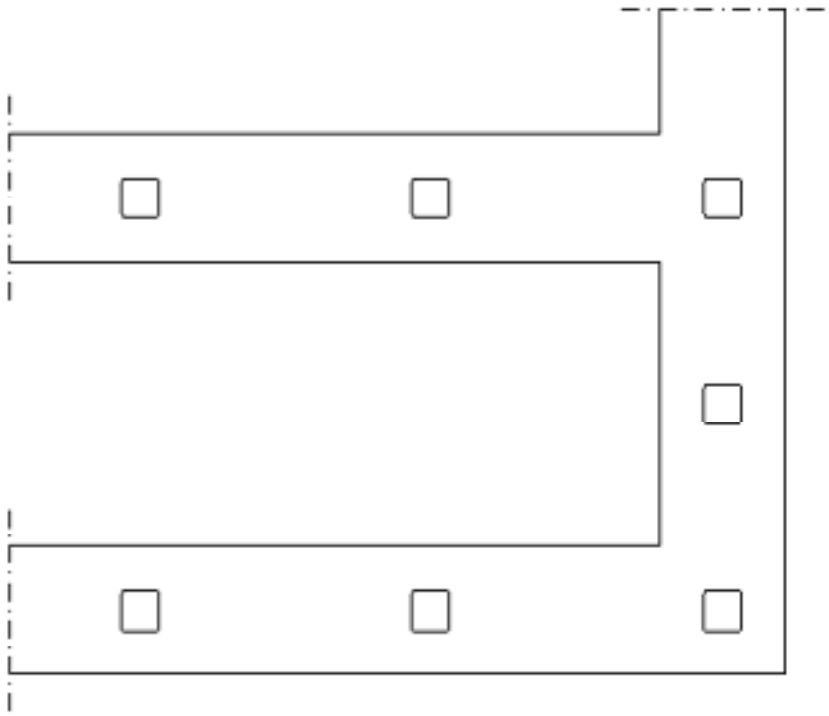
Kuva 23. Kahden paalun anturan malliraudoitusesimerkki

Anturan raudoitus on aina suunniteltava tapauskohtaisesti huomioiden anturaan kohdistuvat rasitukset ja tarvittavat suojabetonietäisyydet, kuvassa 23 esitettyä malliraudoitusta ei voida suoraan käyttää anturan raudoituksena tarkistamatta raudoituksen riittävyyttä.

5.3.5 Jatkuva antura

Jatkuvan paaluanturan alla Luja-pienpaalut suositellaan sijoitettavaksi yhteen riviin, sik-sak-paalutusta ei suositella. Jatkuvan paaluanturan nurkissa ja liitoskohdissa paalut suositellaan sijoitettavaksi kuvan 24 mukaisesti. Paalut sijoitetaan kuormituslinjojen painopisteeseen anturan vääntörasitusten minimoimiseksi. Jos paalukuorma tai jatkuvan anturan vääntörasitus tulee liian suureksi, käytetään 2:den tai useamman paalun anturaa.

Jatkuva paikallavalettu antura tulee suunnitella ja raudoittaa siten, että antura toimii jäykkänä rakenteena ja siirtää yläpuolisen rakenteen kuormat paaluille toimien jatkuvana vääntöjäykkänä palkkina paalujen välillä. Anturan nurkat ja liitoskohdat tulee suunnitella ja raudoittaa siten, että anturan pituussuuntainen kiertyminen on estetty. Tällöin Luja-pienpaalut voidaan liittää anturaan kuvan 6 mukaisella nivelliitoksella. Anturan liitoskohdissa ja nurkissa on kiinnitettävä erityistä huomiota harjaterästen ankkurointiin ja jatkoksiin. Epäkeskisyydestä aiheutuva vääntö tulee huomioida perustusten raudoituksessa.



Kuva 24. Luja-pienpaalujen sijoitus jatkuvan anturan alla, periaatekuva

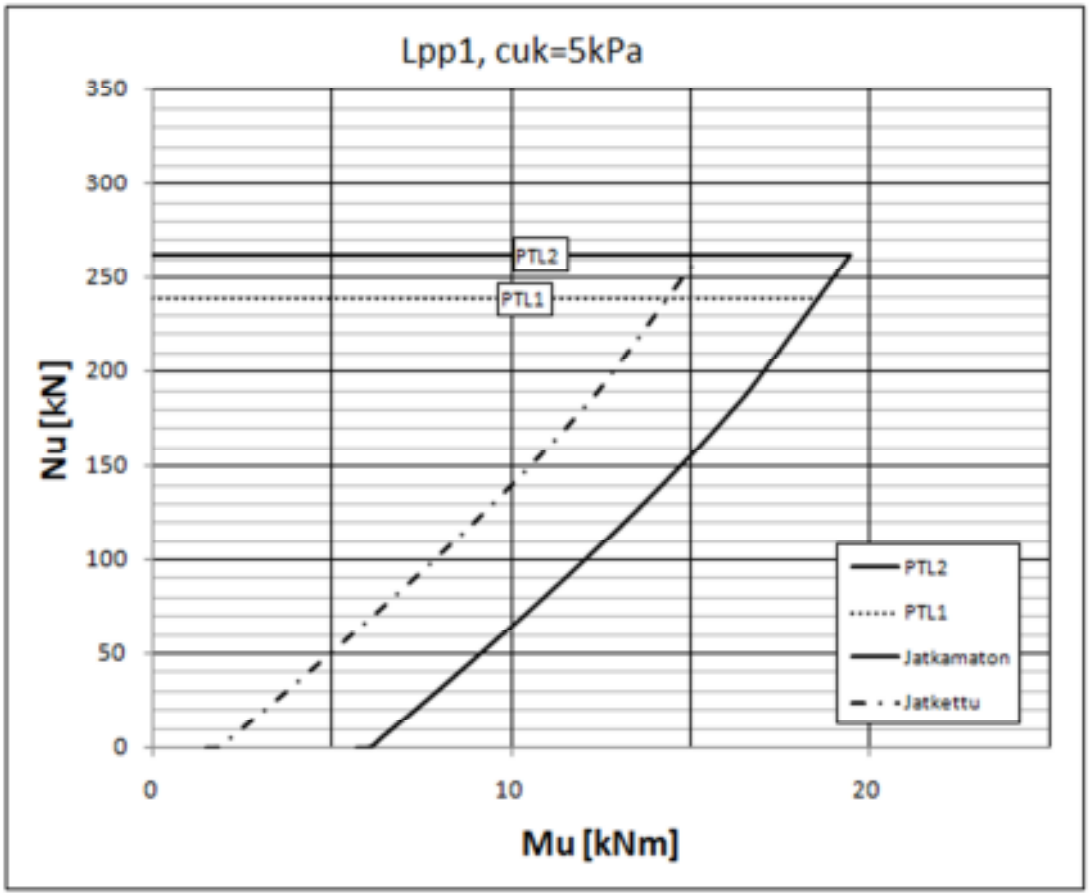
6 Paalujen yhteisvaikutusdiagrammit

6.1 Paalujen yhteisvaikutusdiagrammit huomioiden nurjahdustuennan vaikutus

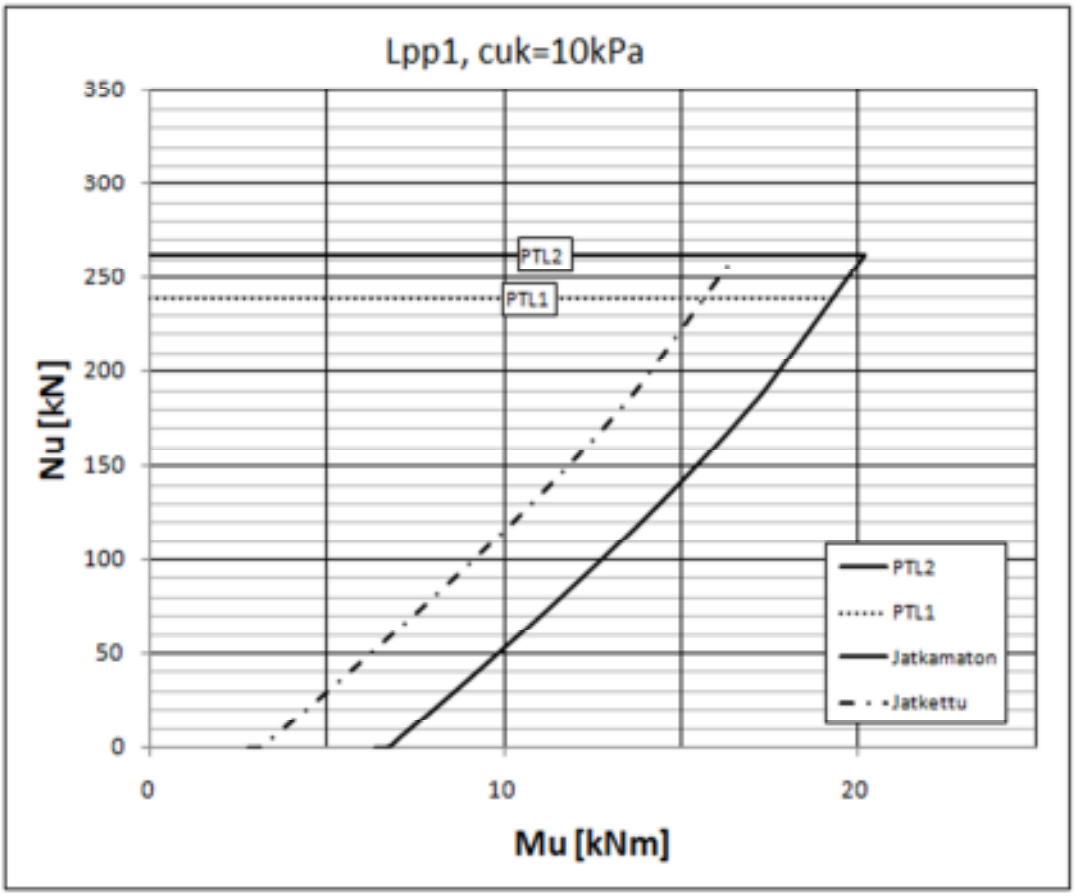
Kuvien 25–33 yhteisvaikutusdiagrammeissa on huomioitu paalukuorman epäkeskisyyden, paalun nurjahduksen ja maan sisäisen leikkauslujuuden vaikutus paalun kestävyyteen.

Yhteisvaikutusdiagrammeja on laskettu 3:lle eri maan sisäisen leikkauslujuuden arvolle (c_{uk} = 5kPa, 10kPa tai 20kPa) ja 3:lle eri Luja-pienpaalulle (Lpp1, Lpp2 ja Lpp3).

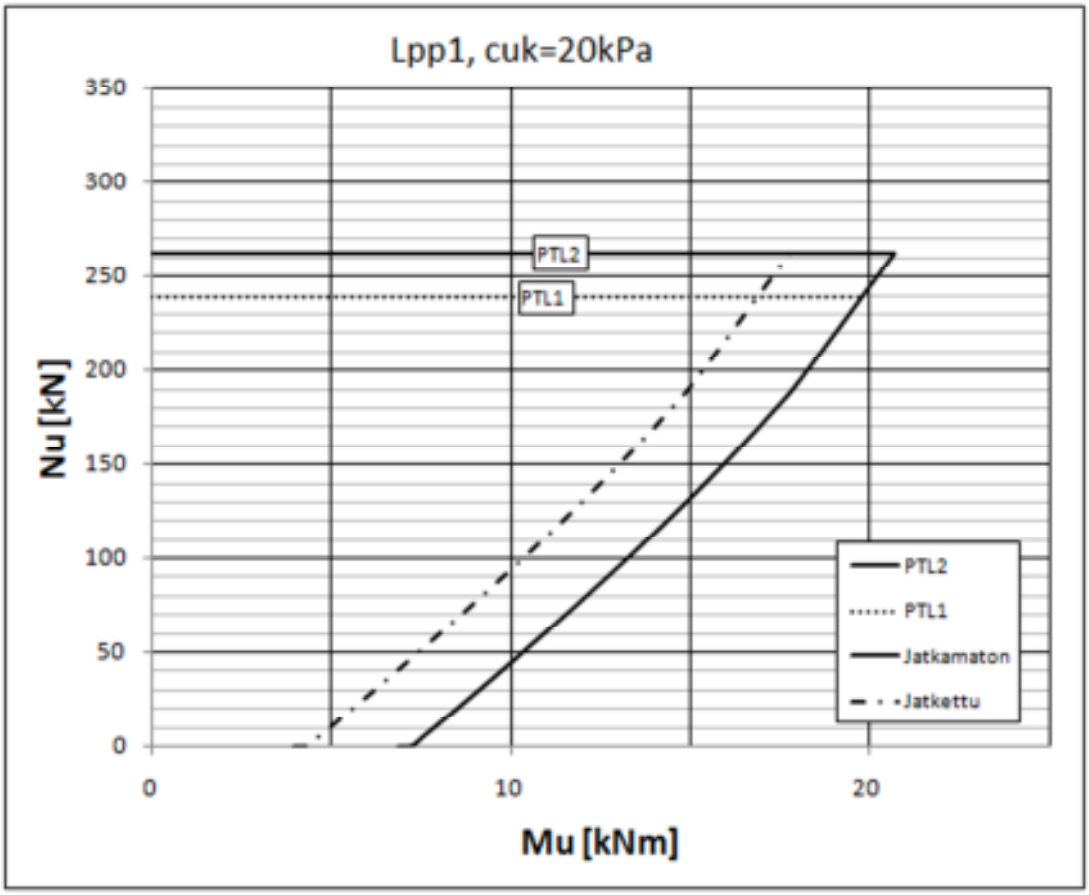
Paalutustyöluokkia käyrästöissä on kolme PTL1, PTL2 ja PTL3, lisäksi on esitetty jatketun ja jatkamattoman paalun käyrästöt. Paalu mitoitetaan jatketun paalun kestävyyden mukaan. Jatkamattoman paalun kestävyyttä voidaan tarvita erikoistapauksissa.



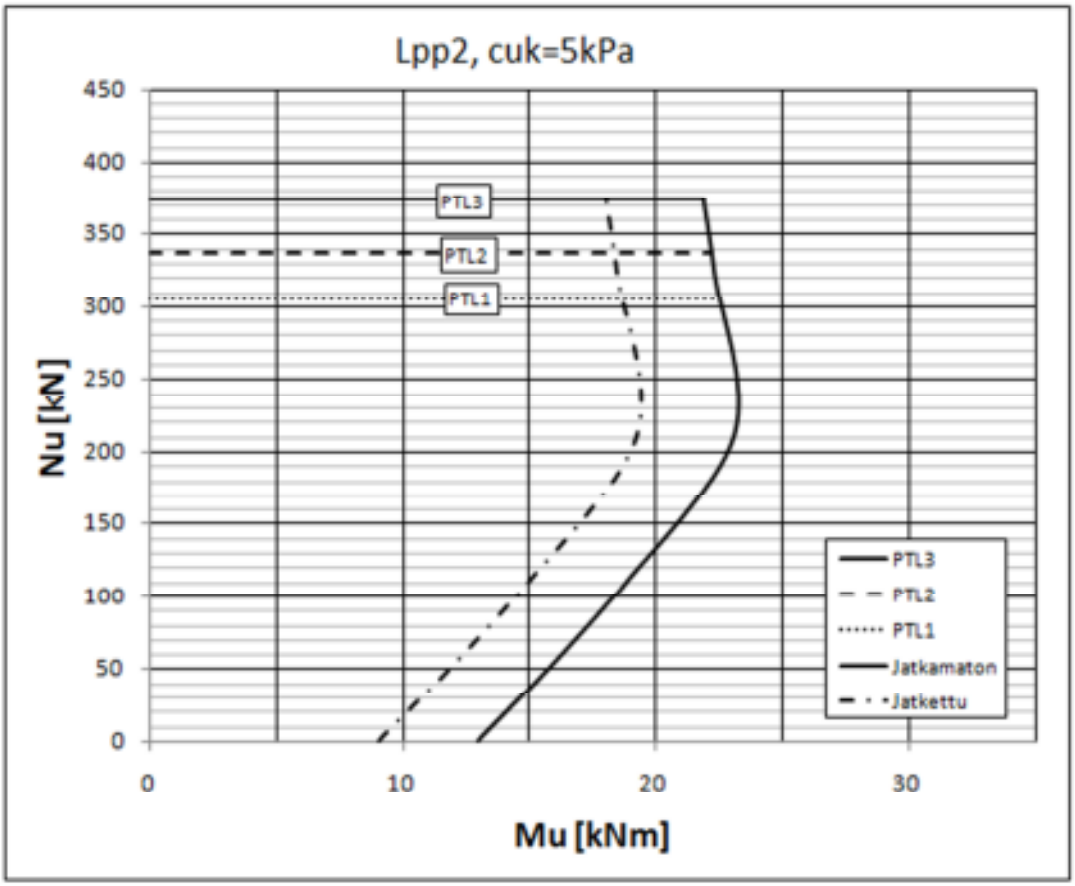
Kuva 25. Yhteisvaikutusdiagrammi, Lpp1. c_{uk} = 5kPa



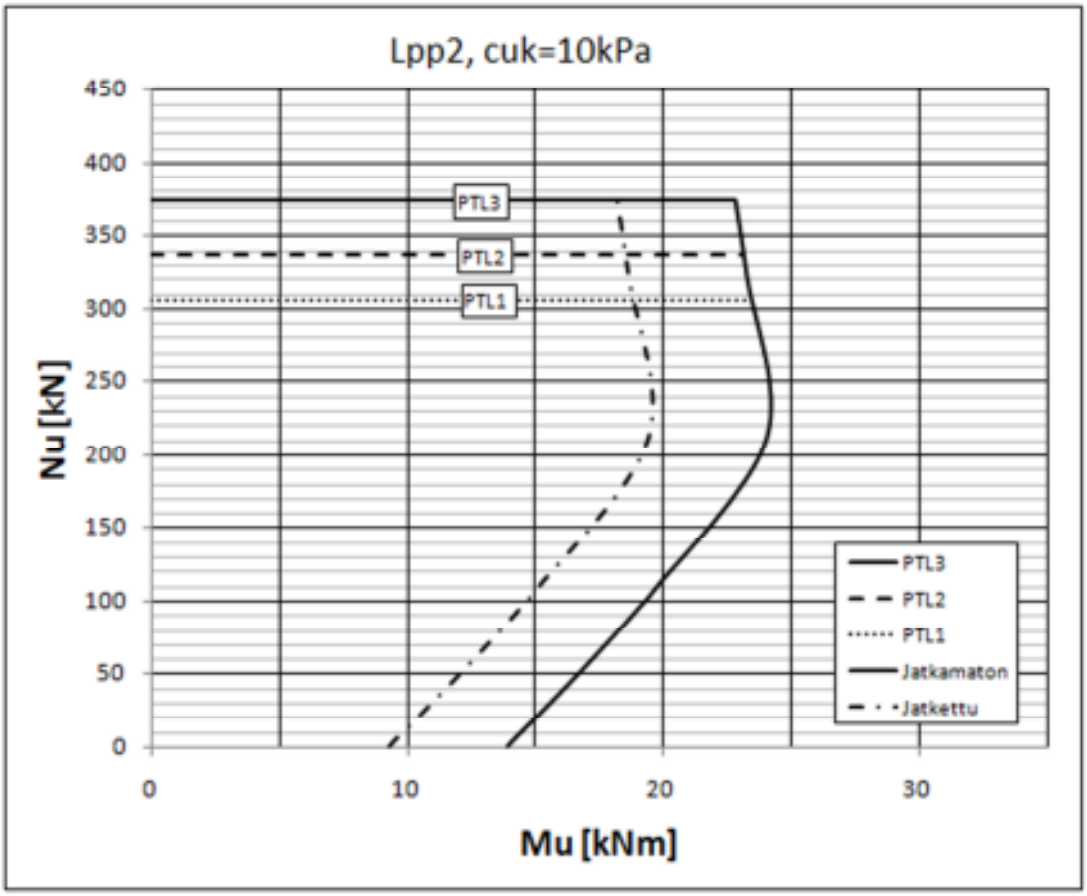
Kuva 26. Yhteisvaikutusdiagrammi, Lpp1. c_{uk} = 10kPa



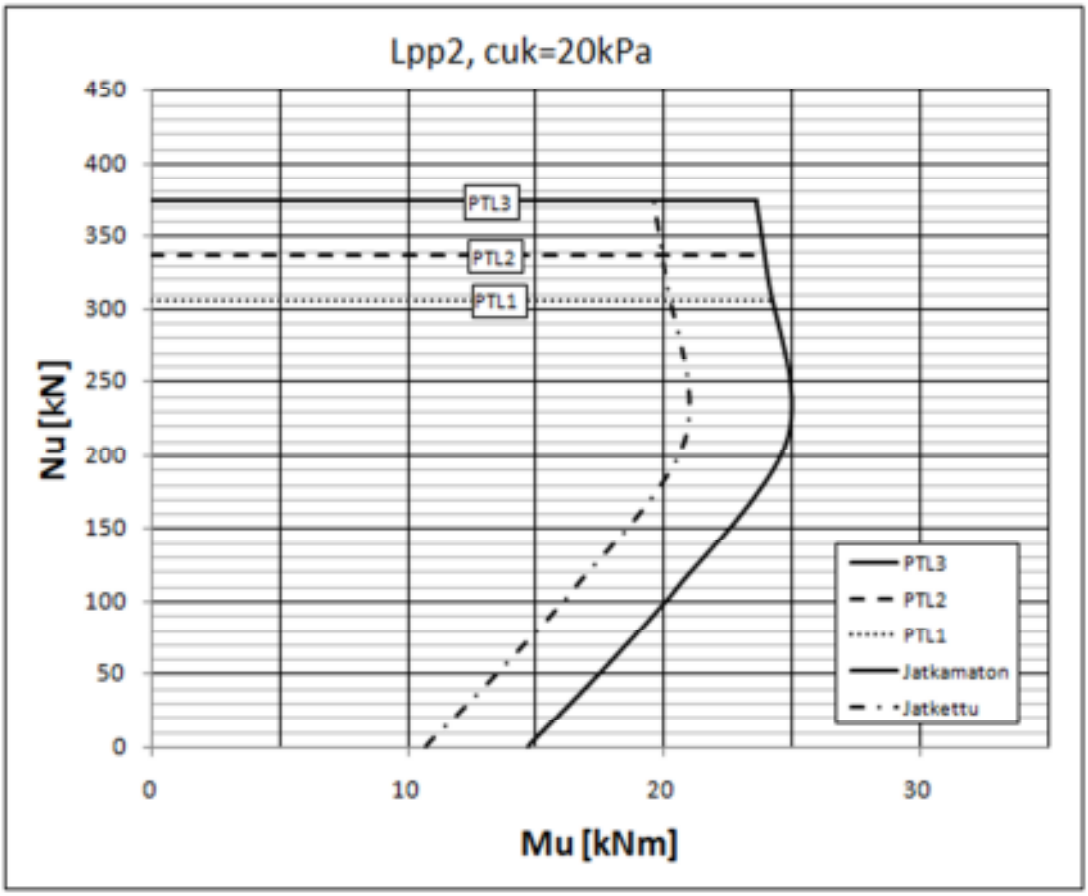
Kuva 27. Yhteisvaikutusdiagrammi, Lpp1. c_{uk} = 20kPa



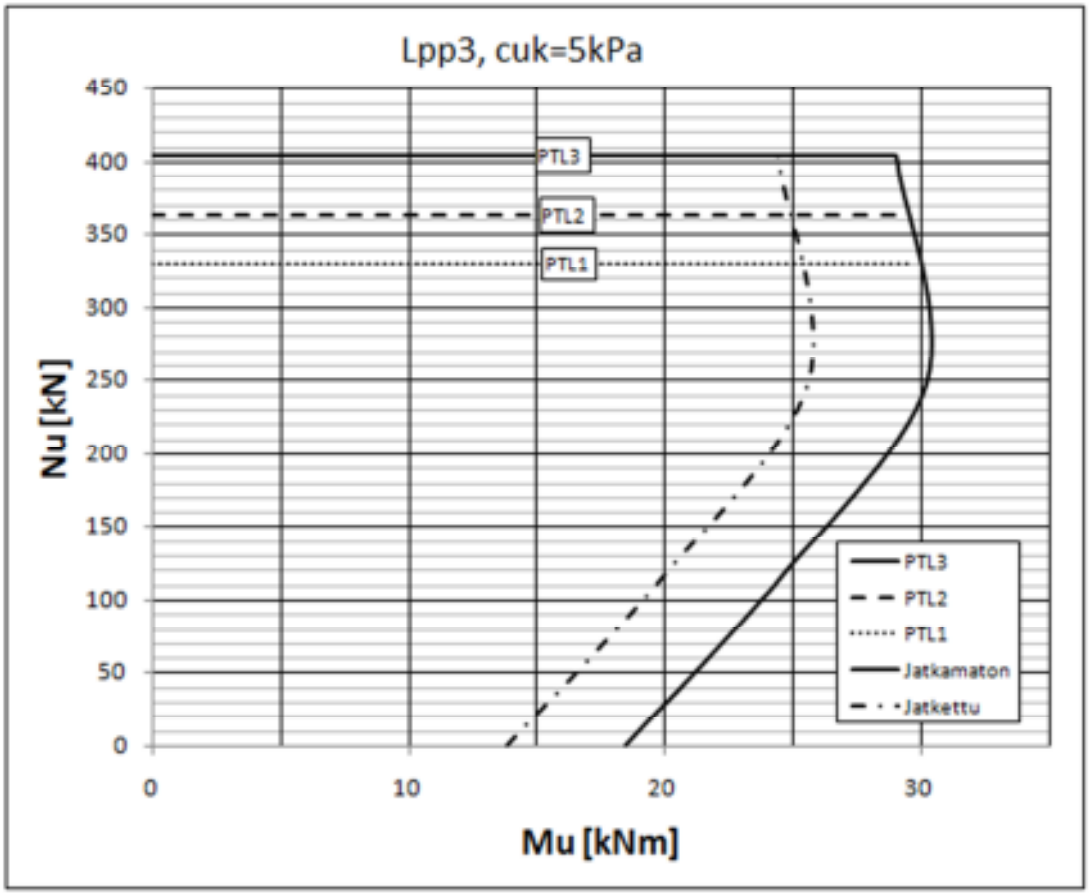
Kuva 28. Yhteisvaikutusdiagrammi, Lpp2. c_{uk} = 5kPa



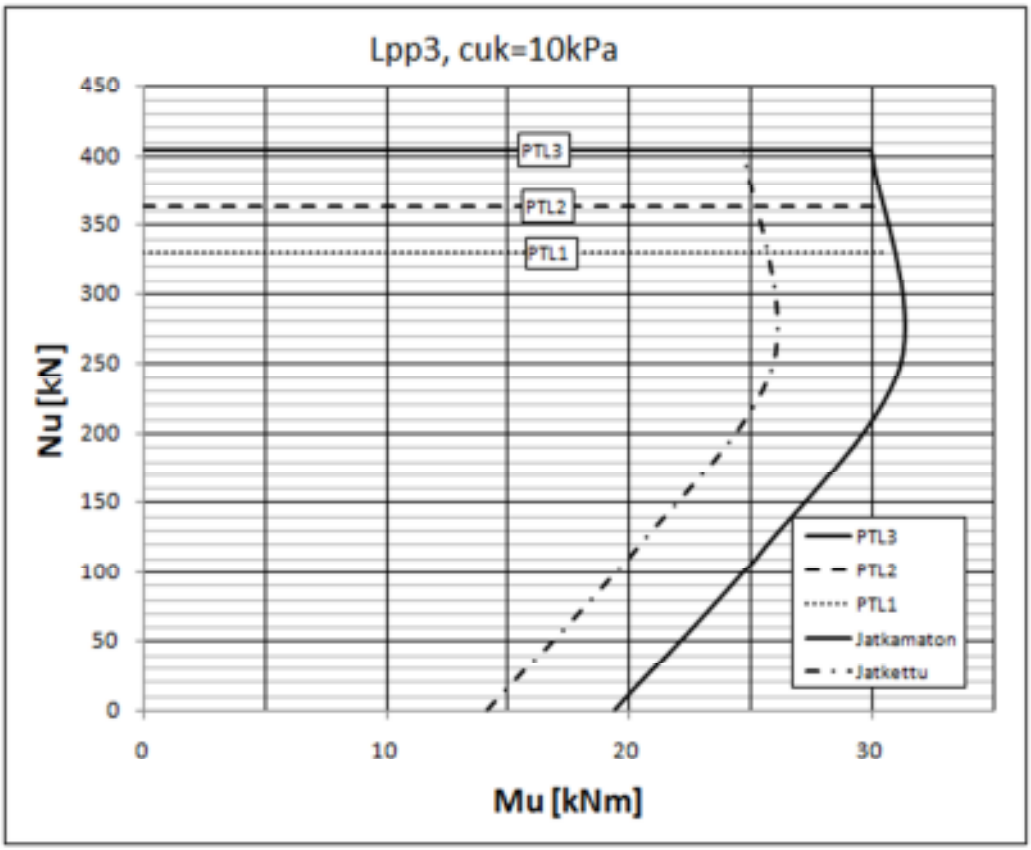
Kuva 29. Yhteisvaikutusdiagrammi, Lpp2. c_{uk} = 10kPa



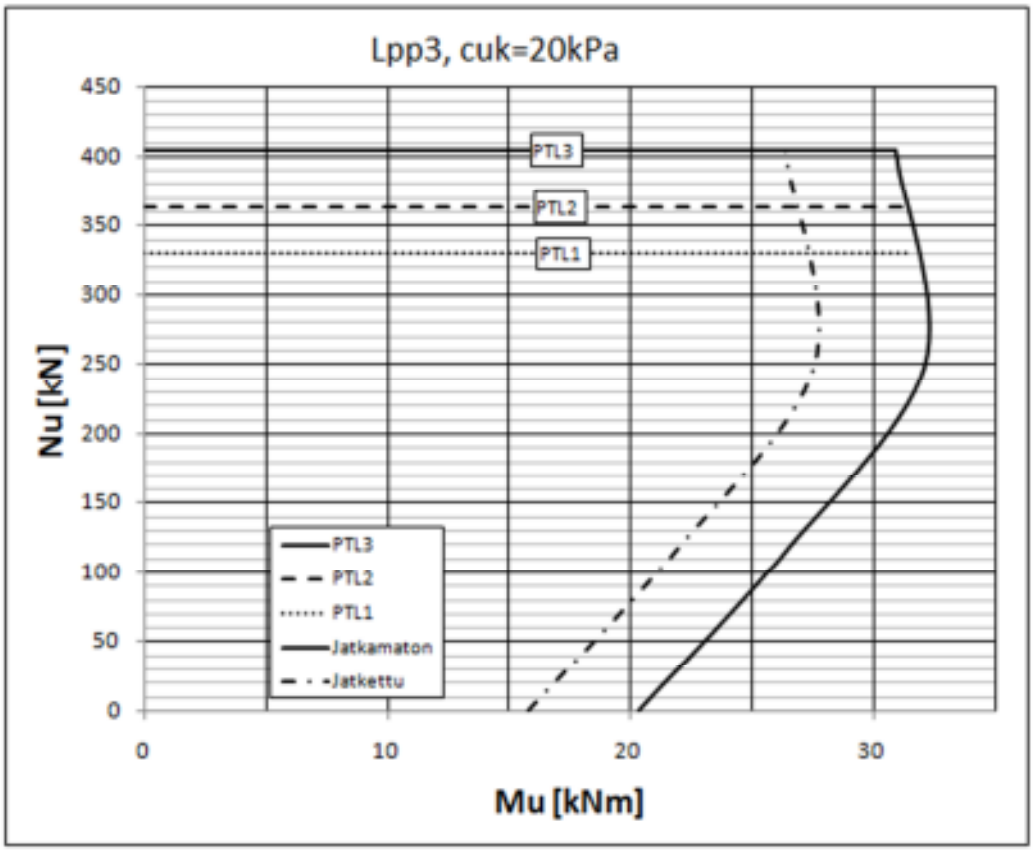
Kuva 30. Yhteisvaikutusdiagrammi, Lpp2. c_{uk} = 20kPa



Kuva 31. Yhteisvaikutusdiagrammi, Lpp3. c_{uk} = 5kPa



Kuva 32. Yhteisvaikutusdiagrammi, Lpp3. c_{uk} = 10kPa

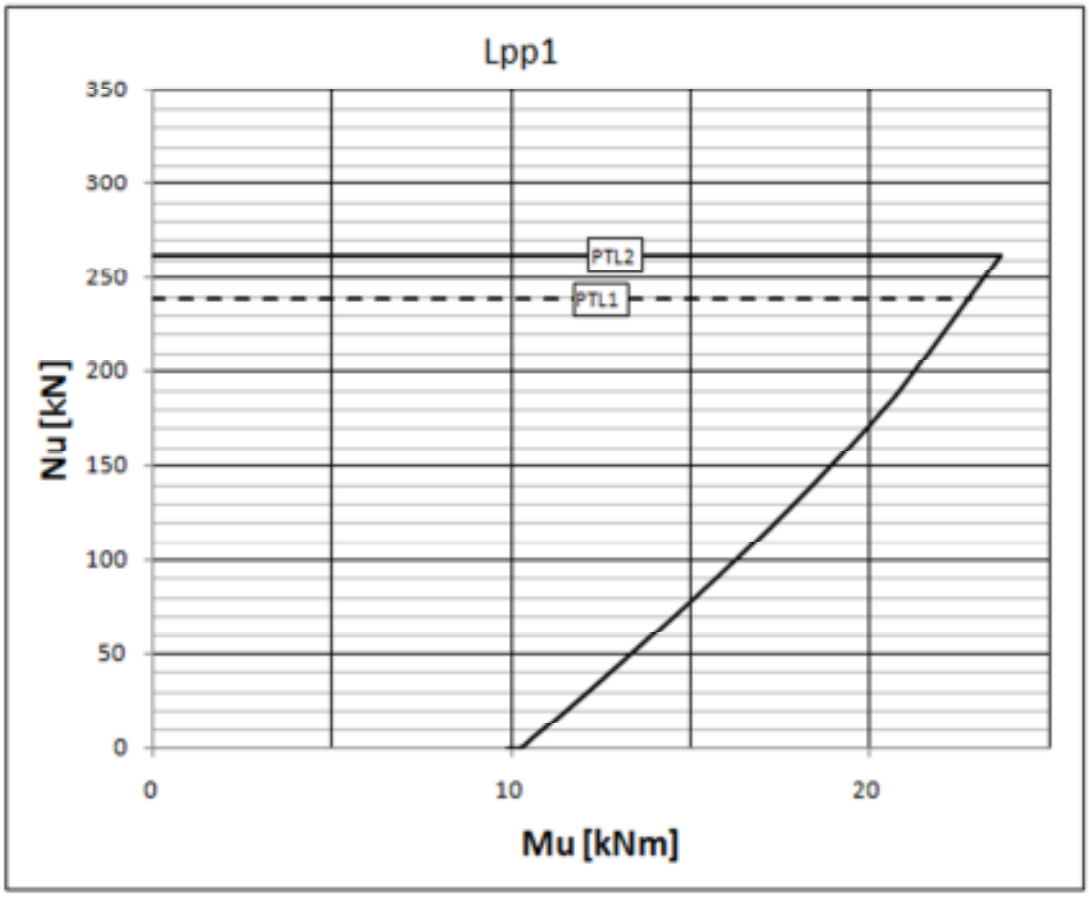


Kuva 33. Yhteisvaikutusdiagrammi, Lpp3. c_{uk} = 20kPa

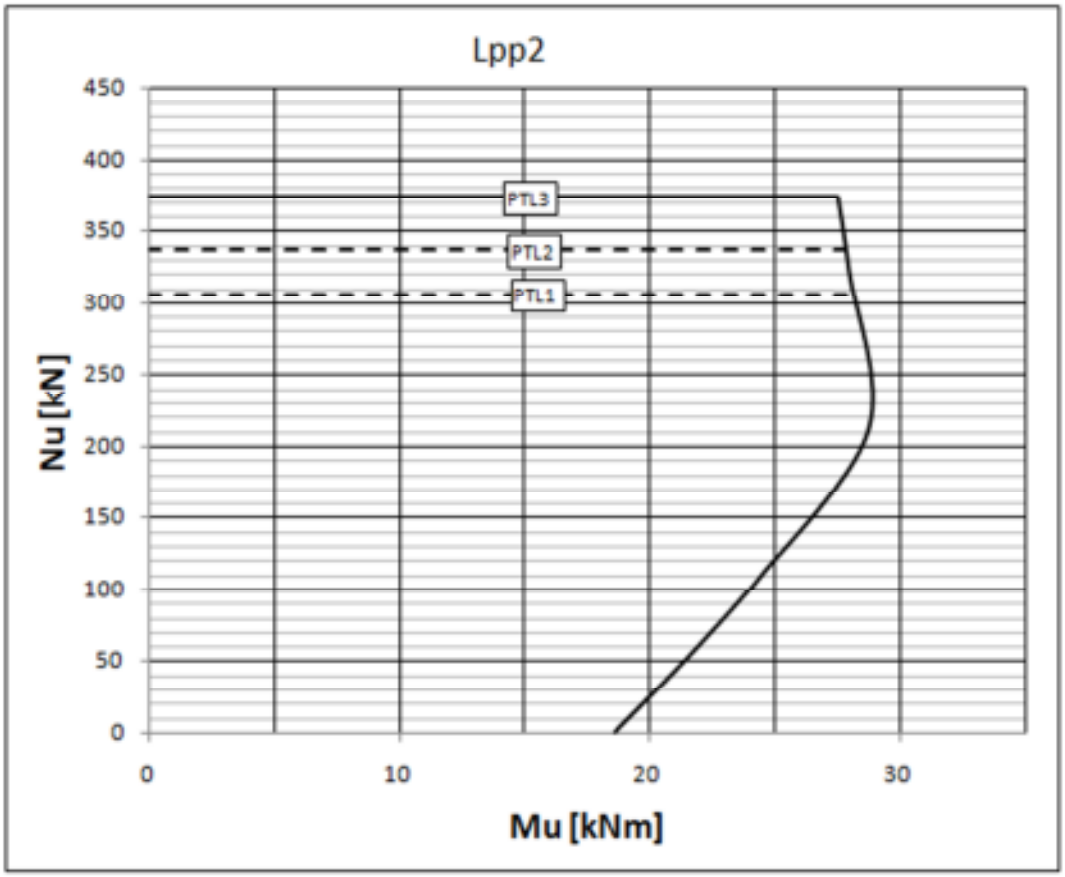
6.2 Paalujen yhteisvaikutusdiagrammit ilman nurjahdustuennan vaikutusta

Kuvissa 34–36 esitetään Luja-pienpaalujen yhteisvaikutusdiagrammit kun paalun nurjahduksen vaikutusta ja maan lujuutta ei huomioida paalun kestävyydessä.

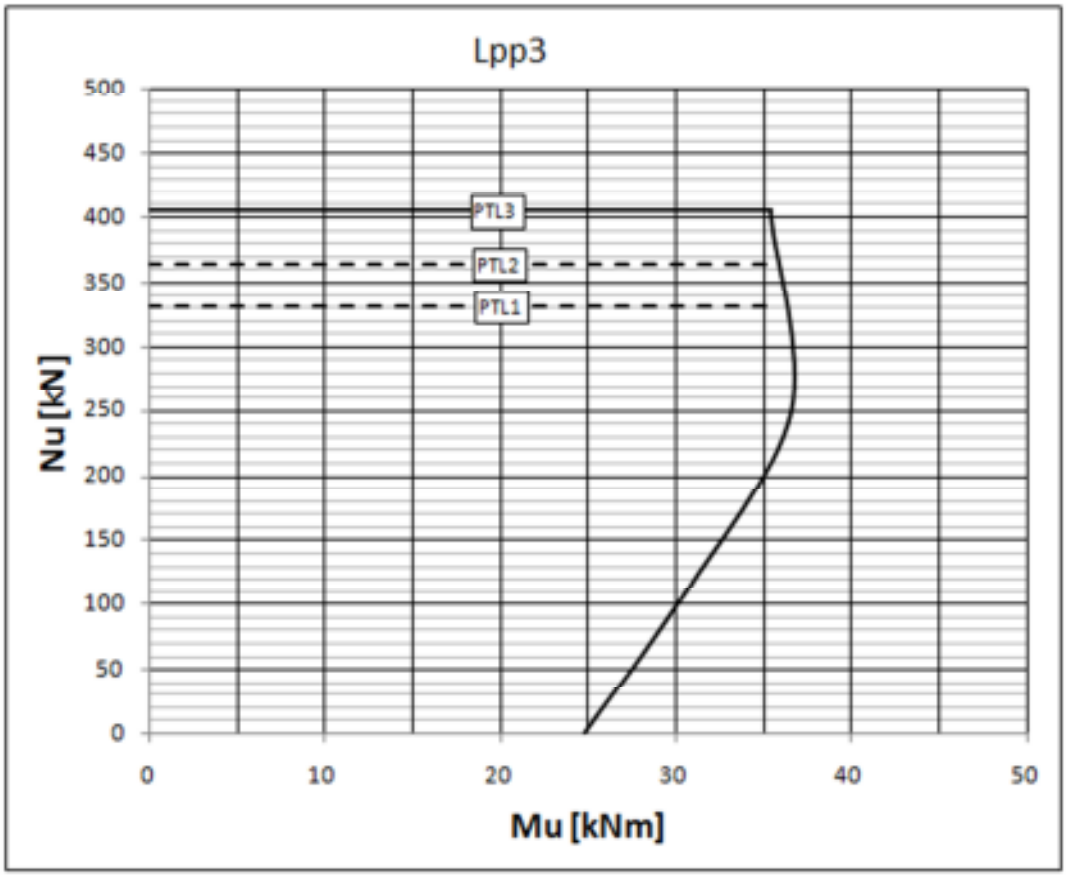
Käyrästöjen (kuvat 34–36) avulla tarkistetaan paalun yläpään kestävyys eri paalutustyöluokissa kun käytetään jäykkää liitosta paalun ja anturan välillä.



Kuva 34. Yhteisvaikutusdiagrammi, Lpp1.



Kuva 35. Yhteisvaikutusdiagrammi, Lpp2.



Kuva 36. Yhteisvaikutusdiagrammi, Lpp3.

7 PAALUTUSTYÖ

7.1 Yleistä

Paalut pyritään asentamaan tarkalleen suunnitelmissa esitettyyn paikkaan ja asentoon. Paalua ei kuitenkaan saa vääntää asennuksen aikana tai sen jälkeen.

Paalujen asennusjärjestys tulee suunnitella ennen paalutustyön aloittamista.

Ennen paalutustyön aloittamista tulee varmistua siitä, ettei paalutus vaikuta haitallisesti jo asennettuihin paaluihin, muihin pohjarakenteisiin tai lähiympäristöön tai sen rakenteisiin.

Paalutustyön toteuttaja laatii ennen paalutustyön aloittamista kohdekohtaisen paalutuksen toteutussuunnitelman. Jos paalutuksen paalutustyöluokka on PTL2 tai PTL3, on osana toteutussuunnitelmaa laadittava kirjallinen suunnitelma laadunvarmistamisesta. Toteutussuunnitelmassa ja laatusuunnitelmassa käsiteltävät asiat tarkemmin, ks. PO2011 Osa 2.

Paalutustyö tehdään hyväksytyn toteutussuunnitelman mukaan. Paalutustyö tulee suorittaa siten, että voidaan havaita kaikki merkitykselliset maaperäolosuhteiden poikkeamat niistä olosuhteista, joihin paalujen suunnittelu on perustunut.

7.2 Soveltuva laitteisto

Luja-pienpaaluilla toteutettavaan paalutukseen soveltuu paalutuslaitteisto, jolla lyönnin kineettinen energia voidaan mitata. Lyönnissä paaluun kohdistuvaa kineettistä energiaa tulee seurata paalutustyön aikana ja varmistua siitä ettei paaluun kohdistu liian suuria lyöntivoimia.

7.3 Paalutustyön lyöntivälikkeet

Lyönnin aikana paalun päässä käytetään Lujabetoni Oy:n toimittamia vaneri- ja nailonpehmikkeitä, joiden paksuudet ovat:

- vaneri 15mm + nailon 150mm
- nailon 150mm

Paalutettaessa on tarkkailtava, että pehmikkeet eivät ohene yli puoleen alkuperäisestä paksuudestaan.

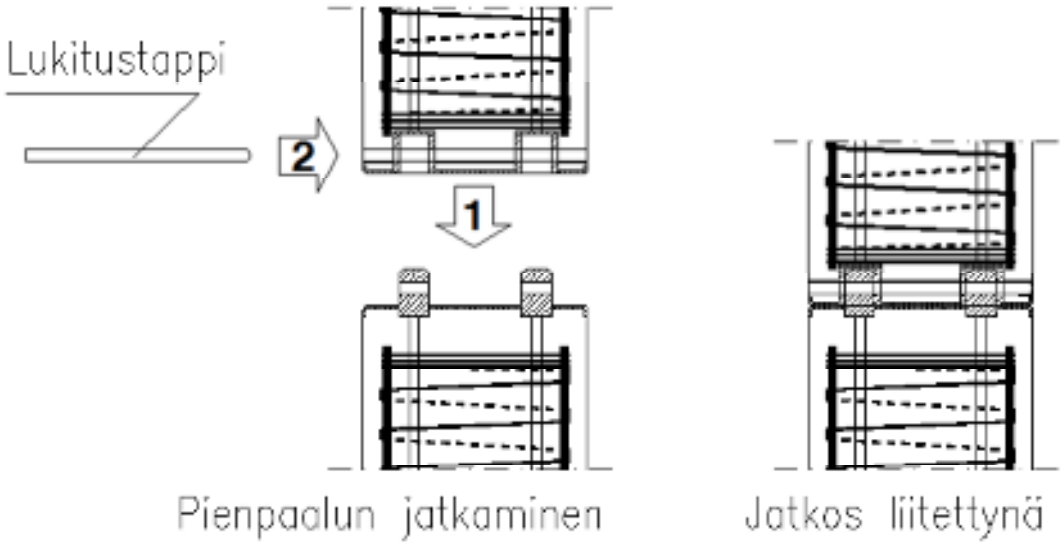
Jos paalu asennetaan teräsapupaalun avulla, loppunopeus määritetään paalun ja apupaalun yhteenlasketun pituuden perusteella.

7.4 Paalujen jatkaminen

Luja-pienpaalujen toimituspituus on 6m. Paalutussyvyyden ollessa suurempi kuin 6m, Luja-pienpaalu jatketaan. Luja-pienpaaluihin asennetaan tehtaalla jatkoskappaleet, joiden avulla paaluelementtejä voidaan liittää työmaalla toisiinsa vaaditun paalutussyvyyden saavuttamiseksi.

Paaluja jatkettaessa tulee varmistua paalun jatkospintojen puhtaudesta ja tarkasta liittymisestä yhteen. Liitospinnat tulee puhdistaa kaikista epäpuhtauksista ja jatkoksen oikeasta liittämisestä tulee huolehtia. Lisäksi tulee huolehtia siitä, että jatkospinnat ovat samansuuntaiset. Suurin sallittu jatkoksen kulmanmuutos on 1:150. Jatkoksen toiminta on erittäin tärkeää paalun rakenteen kestävyyden kannalta.

Jatkokseen asennettava lukitustappi tulee kiinnittää huolellisesti jokaiseen jatkokseen.

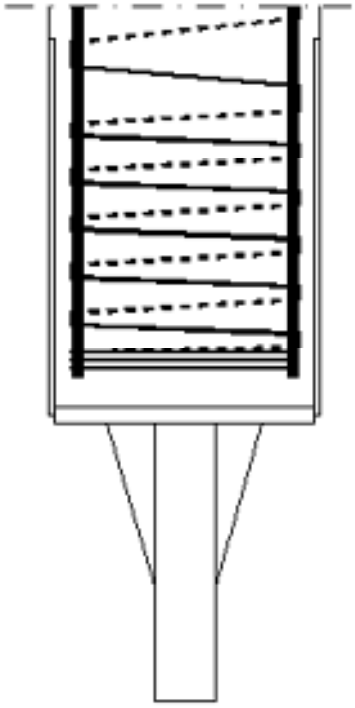


Kuva 37. Luja-pienpaalun jatkaminen

7.5 Paalujen katkaisu ja uusi paalupiste

Luja-pienpaalut katkaistaan suunnitelmissa esitettyyn YP+ korkoon.

Mikäli katkaisutason yläpuolelle jäävä paalun osa on pidempi kuin 1m, voidaan tätä paalun osaa käyttää uudessa paalupisteessä. Kun paalutus uudessa paalupisteessä aloitetaan katkaistulla paalulla, asennetaan paalun katkaistuun päähän kuvan 38 mukainen kalliokärki, jos paalun kärki tukeutuu kallioon tai jos lyötäessä läpäistään kiviä sisältäviä maakerroksia. Mikäli paalu tukeutuu hienorakeiseen tai kivettömään, löyhään karkearakeiseen maaperään, voidaan paalu lyödä ilman paalukärkeä. Katkaistu paalu jatketaan normaalisti paaluissa olevien paalujatkosten avulla.



Kuva 38. Luja-pienpaalun kalliokärki

7.6 Upotuslyönnit

7.6.1 Yleistä upotuslyönneistä

Paaluun syntyy vetojännityksiä yleensä aina, kun paalua lyödään. Upotuslyönneissä vetojännitys on suurimmillaan, kun paalua lyödään löysään maakerrokseen. Tässä tarkastellaan PO2011:n mukaisia upotuslyöntien aiheuttamia vetojännityksiä ja niiden aiheuttamia lisäehtoja upotuslyöntien aikana käytettäviin lyönnin loppunopeuksiin.

Erityistä varovaisuutta on noudatettava täyttöjen läpäisyssä.

Taulukko 6. Upotuslyöntien maksiminopeudet lyötäessä saveen tai täyttöön.

Lyöntitilanne	Paalun pituus [m]	Upotuslyöntien järkäleen loppunopeudet [m/s]		
		Lpp1	Lpp2	Lpp3
Pehmeä savikerros	< 20	1,4	2,4	3,1
	> 20	1,0		
Täyttöjen läpäisy		1,0	1,7	2,6

7.7 Loppulyönnit

7.7.1 Yleistä loppulyönneistä

Paalujen lyöminen voidaan lopettaa, kun paalulle taulukoissa 7-9 määritellyt loppulyöntiehdot täyttyvät.

Luja-pienpaalujen loppulyönnit on laskettu paalupituuksille 6,5…40m. Loppulyöntien laskennassa lyöntilaitteena on käytetty KonePiler 500 lyöntilaitetta ja kokonaistehokkuutena 95 % (kiihdytetty hydraulinen järkäle). Loppulyöntien laskennassa käytetty lyöntilaitteen liikkuvan osan (plogi) massa on 500kg.

Taulukoissa 7-9 esitetyillä loppulyöntipainumilla saavutetaan Luja-pienpaalujen täysi kestävyys eri paalutustyöluokissa. Loppulyöntisarjojen lukumäärä määritetään olosuhteiden mukaan. Jos paalun painuma pienenee hyvin hitaasti tai kohteen pohjaolosuhteet ovat vaihtelevat, täytyy taulukkojen 7-9 täyttäviä sarjoja olla 3 peräkkäin, jotta varmistutaan paalun riittävästä tukeutumisesta kantavaan maakerrokseen. Toisaalta jos painuma 10 lyönnin sarjalla on 5 mm tai alle, paalu on saavuttanut täyden kestävyytensä ja paalun lyönti voidaan lopettaa heti.

PO 2011 mukaisesti paalutustyöluokassa PTL 3 lopetuslyöntikriteerit tarkistetaan ja paalun geotekninen kestävyys varmistetaan dynaamisilla koekuormituksilla.

7.7.2 Loppulyönnit paalutyyppi Lpp1

Taulukossa 7 esitetään järkäleen liikkuvan osan loppunopeudet ja loppulyöntipainumat paalutyypille Lpp1 eri paalutustyöluokissa. Loppulyöntipainumat on esitetty 10:n lyönnin sarjan loppulyöntipainumana.

Taulukko 7. Paalutyypin Lpp1 loppulyönnit, 10 lyönnin sarjan painuma [mm]

Paalutus-työluokka	Järkäleen loppunopeus [m/s]	Paalun pituus [m]					
		≤ 5	10	15	20	30	40
PTL1	2,8	13	12	12	11	11	11
PTL2	3,0	12	11	11	11	11	10

7.7.3 Loppulyönnit paalutyyppi Lpp2

Taulukossa 8 esitetään järkäleen liikkuvan osan loppunopeudet ja loppulyöntipainumat paalutyypille Lpp2 eri paalutustyöluokissa. Loppulyöntipainumat on esitetty 10:n lyönnin sarjan loppulyöntipainumana.

Taulukko 8. Paalutyypin Lpp2 loppulyönnit, 10 lyönnin sarjan painuma [mm]

Paalutus-työluokka	Järkäleen loppunopeus [m/s]	Paalun pituus [m]					
		≤ 5	10	15	20	30	40
PTL1	3,3	11	10	10	10	10	9
PTL2	3,6	11	11	11	11	10	10
PTL3	3,8	11	10	10	10	10	9

7.7.4 Loppulyönnit paalutyyppi Lpp3

Taulukossa 9 esitetään järkäleen liikkuvan osan loppunopeudet ja loppulyöntipainumat paalutyypille Lpp3 eri paalutustyöluokissa. Loppulyöntipainumat on esitetty 10:n lyönnin sarjan loppulyöntipainumana.

Taulukko 9. Paalutyypin Lpp3 loppulyönnit, 10 lyönnin sarjan painuma [mm]

Paalutus-työluokka	Järkäleen loppunopeus [m/s]	Paalun pituus [m]					
		≤ 5	10	15	20	30	40
PTL1	3,6	12	12	12	12	11	11
PTL2	3,8	12	12	12	12	11	11
PTL3	4,1	11	11	11	10	10	10

8 LAADUNVALVONTA, MITTAUKSET JA DOKUMENTOINTI

8.1 Yleistä

Paalutustyöhön kuuluvia töitä tulee valvoa standardin EN 1997-1 lukujen 4 ja 7 mukaisesti.

Tarkempia tietoja, määräyksiä ja ohjeita paalujen laadunvalvontaan, mittauksiin ja dokumentointiin löytyy PO2011 Osa 2:sta.

8.2 Materiaalien laadunvalvonta

Luja-pienpaalujen valmistuksessa käytetyn betonin kelpoisuuden toteamisessa noudatetaan standardia SFS-EN 206-1.

8.3 Paalujen tarkastaminen ennen asennusta

Ennen asentamista Luja-pienpaaluissa ei saa esiintyä poikittaista halkeamaa, jonka pituus on yli 360mm ja jonka leveys suurimmasta kohdasta mitattuna ylittää 0,2mm. Paalussa ei myöskään saa olla pituussuuntaista, leveimmältä kohdaltaan yli 0,2mm levyistä ja yli 200mm pituista, halkeamaa. Näitä lyhyempien halkeamien leveys saa olla suurimmillaan 0,5mm ja ne tulee korjata ennen paalun asentamista.

Paalujen suoruus ja halkeamat sekä päiden kohtisuoruus tarkastetaan alustavasti silmämääräisesti. Mikäli käyristymiä, vinoutumia tai halkeamia on havaittavissa, paaluille tehdään tarkistusmittauksia langan, suorakulman ja luupin avulla.

Jos paalu lohkeaa niin, että teräkset paljastuvat, paalu hylätään.

Valvoja merkitsee hylätyt paalut pohjarakennustöiden aloituskokouksessa sovitulla tavalla. Hylätyt paalut poistetaan työmaalta.

8.4 Paalutustyön valvonta

Paalutustyönjohtaja johtaa ja valvoo kaikkia paalutukseen liittyviä tehtäviä ja töitä sekä hoitaa tarpeelliset tarkastukset. Paalutustyönjohtajan tekee tarpeelliset muistiinpanot tehtäviinsä kuuluvista toimenpiteistä ja vastaa paalutuspöytäkirjan pitämisestä.

Laadunvarmistus hoidetaan siten, että työn lopputulos ja kelpoisuus voidaan luotettavasti todeta vertaamalla suorituspöytäkirjoja ja raportteja suunnitelma-asiakirjoihin.

8.5 Seuranta ja mittaukset asentamisen aikana

Maata syrjäyttävien paalujen asennustyön eri työvaiheita tulee tarkkailla seuranta- ja mittaustarkkailun avulla. Tämän tarkkailun tulee olla paalutustyön menetelmäkuvauksen ja toteutussuunnitelman mukaista. Menetelmäkuvauksen ja toteutussuunnitelman tulee olla suunnittelun ja julkaisun EN 1997-1 mukaisia.

Lopetuslyönnit dokumentoidaan siten, että suunnitelman mukainen asennuksen lopettamisehto voidaan osoittaa saavutetuksi.

8.6 Mittaukset asentamisen jälkeen

Paalujen sijainti, korkeustasot ja kaltevuus mitataan ja dokumentoidaan asennuksen jälkeen. Mittaukset suoritetaan mahdollisimman pian asennuksen jälkeen. Sijainnin mittauksen tarkkuuden on oltava 10mm, korkeustason 5mm, kaltevuuden 0,5% ja suunnan 5 gon (gon = gooni eli uusaste = 1/100 suorasta kulmasta. 1 gon = π/200 rad. 1 gon = 0,9 astetta).

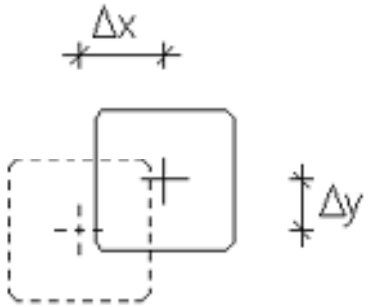
Asennettujen paalujen mahdollisia siirtymiä seurataan jatkuvasti paalutustyön aikana.

Paalutustyön päätyttyä mitataan paalujen sijaintipoikkeamat katkaisutasossa.

Seuraavat poikkeamat dokumentoidaan:

$$\Delta xy = \sqrt{\Delta x_i^{\,2} \Delta y_i^{\,2}}$$

Δxy	kokonaispoikkeama
Δx	paalun sijaintipoikkeama x-koordinaatin suunnassa
Δy	paalun sijaintipoikkeama y-koordinaatin suunnassa



Kuva 39. Paalun sijaintipoikkeamat Δx ja Δy

Paalujen tarkemittaaja mittaa paalujen sijaintipoikkeamat Δx ja Δy. Ne mitataan ja dokumentoidaan rakennuksen paalutuspiirustusten koordinaatistossa. Paalujen kokonaispoikkeaman Δxy suunnittelija määrittää tarvittaessa.

Paaluryhmän tai -rivin painopisteen kokonaispoikkeama lasketaan seuraavasti:

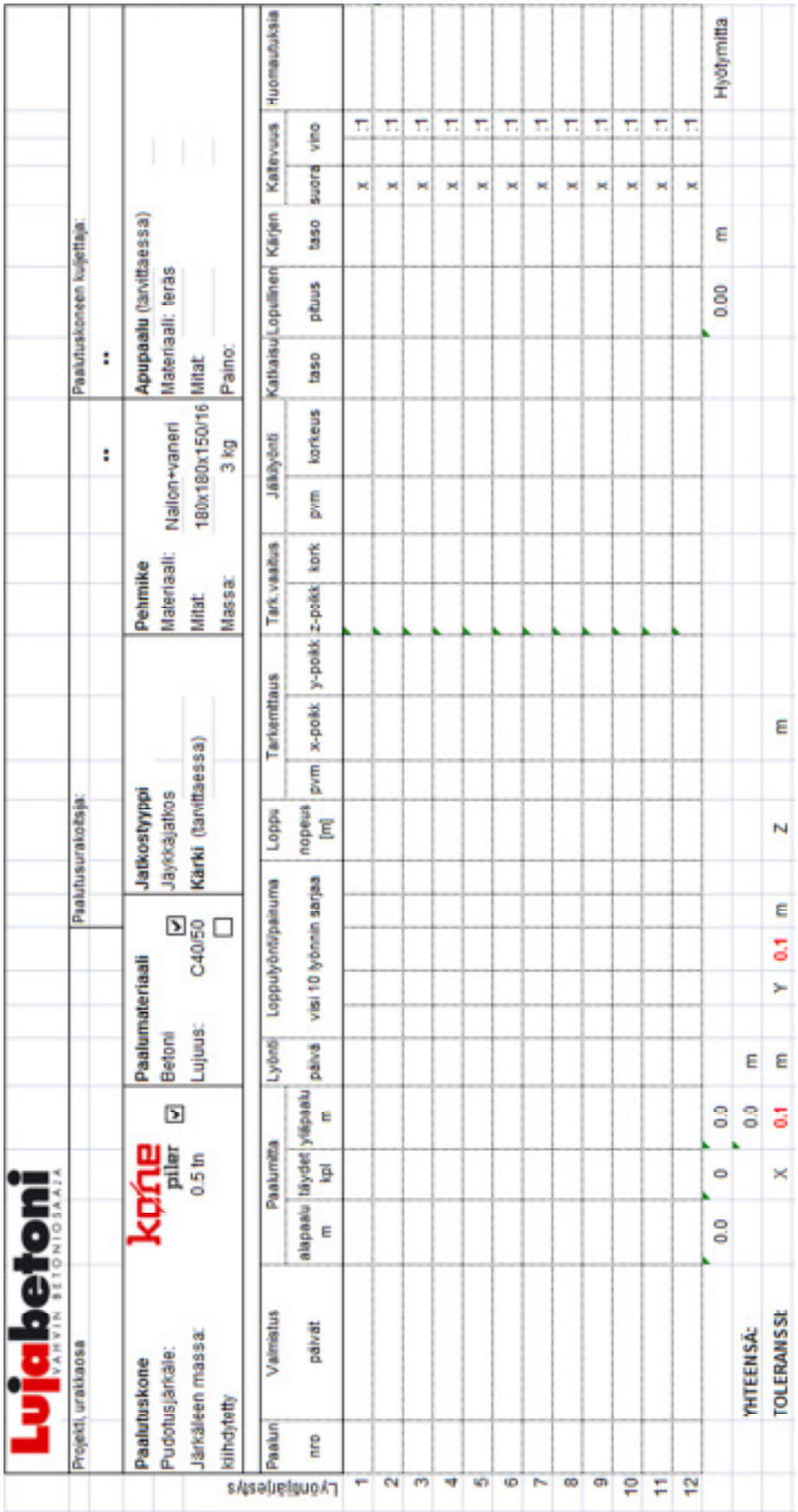
$$\Delta xy_r = \frac{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^{n_p} \Delta x_i\right)^2 \left(\sum_{i=1}^{n_p} \Delta y_i\right)^2}}{n_p}$$

(suunnittelija laskee)

Δxy_r paaluryhmän painopisteen kokonaispoikkeama
Δx_i yksittäisen paalun sijaintipoikkeama x-koordinaatin suunnassa
Δy_i yksittäisen paalun sijaintipoikkeama y-koordinaatin suunnassa
n_p paalujen lukumäärä

Näiden lisäksi tarkastetaan paalurivien painopisteiden poikkeamat paaluriviin nähden kohtisuorassa suunnassa.

8.7 Paalutuspöytäkirjamalli



Lujabetoni VAHVIN BETONIOSAAJA

Projekti, urakkaosa | Paalutusurakoitsija: | Paalutuskoneen kuljettaja:

Paalutuskone: Pudotusjärkäle: Järkäleen massa: kiihdytetty | kone piler 0.5 tn

Paalumateriaali: Betoni, Lujuus: C40/50

Jatkostyyppi: Jäykkäjatkos, Kärki (tarvittaessa)

Pehmike: Materiaali: Nailon+vaneri, Mitat: 180x180x150/16, Massa: 3 kg

Apupaalu (tarvittaessa): Materiaali: teräs, Mitat:, Paino:

Lyöntijärjestys	Paalun nro	Valmistus päivät	Paalumitta alapaalu m	Paalumitta täydet kpl	Paalumitta yläpaalu m	Lyönti päivä	Loppulyönti/painuma viisi 10 lyönnin sarjaa	Loppu nopeus [m]	Tarkemittaus pvm	Tarkemittaus x-poikk	Tarkemittaus y-poikk	Tark. vaaitus z-poikk	Tark. vaaitus kork	Jälkilyönti pvm	Jälkilyönti korkeus	Katkaisu taso	Lopullinen pituus	Kärjen taso	Kaltevuus suora	Kaltevuus vino	Huomautuksia
1																			x	:1	
2																			x	:1	
3																			x	:1	
4																			x	:1	
5																			x	:1	
6																			x	:1	
7																			x	:1	
8																			x	:1	
9																			x	:1	
10																			x	:1	
11																			x	:1	
12																			x	:1	
			0.0	0	0.0												0.00	m			Hyötymitta
	YHTEENSÄ:				0.0	m															
	TOLERANSSI:		X		0.1	m	Y	0.1	m	Z		m									

Kuva 40. Luja-pienpaalujen paalutustyöpöytäkirjamalli

Liite 1: Luja-pienpaalujen sallitut kuormat

Taulukossa 1.1 annetaan Luja-pienpaalujen sallitut kuormat, kun pysyvän ja muuttuvan kuorman suhde on 50% / 50%. Tällöin kuormien varmuuskerroin $\gamma_k = 0{,}5 \cdot 1{,}15 + 0{,}5 \cdot 1{,}5 = 1{,}325$. Jos pysyvän ja muuttuvan kuorman suhde poikkeaa taulukossa oletetusta, tulee kuormien yhdistetty varmuuskerroin γ_{k2} laskea seuraavan kaavan mukaan

$$\gamma_{k2} = G\% \cdot \gamma_g + Q\% \cdot \gamma_q$$

γ_g = pysyvien kuormien osavarmuusluku
G% = pysyvien kuormien osuus kokonaiskuormasta
γ_q = muuttuvien kuormien osavarmuusluku
Q% = muuttuvien kuormien osuus kokonaiskuormasta

Taulukossa 4 annetut sallitut voidaan vastaavasti muuttaa kertoimella

$$K_k = \frac{\gamma_K}{\gamma_{K2}}$$

Taulukko 1.1. Luja-pienpaalun sallitut kuormat (keskeinen kuormitus), pysyvän ja muuttuvan kuorman suhde 50% / 50%

Paalutyyppi Lpp1						
Alkutaipuma δ_0	P_{sall} [kN] Maan suljettu leikkauslujuus, c_{uk} [kPa]			R_{sall} [kN]		
	5	7	10	PTL1	PTL2	PTL3
$L_{cr}/300$	A	A	A	180	198	1)
$L_{cr}/150$	176	A	A			
Paalutyyppi Lpp2						
Alkutaipuma δ_0	P_{sall} [kN] Maan suljettu leikkauslujuus, c_{uk} [kPa]			R_{sall} [kN]		
	5	7	10	PTL1	PTL2	PTL3
$L_{cr}/300$	A	A	A	230	254	282
$L_{cr}/150$	240	A	A			
Paalutyyppi Lpp3						
Alkutaipuma δ_0	P_{sall} [kN] Maan suljettu leikkauslujuus, c_{uk} [kPa]			R_{sall} [kN]		
	5	7	10	PTL1	PTL2	PTL3
$L_{cr}/300$	A	A	A	249	274	305
$L_{cr}/150$	263	A	A			

1) Paalutyyppiä Lpp1 ei käytetä paalutustyöluokassa PTL3.

Taulukossa 1.1 merkintä A tarkoittaa, että paalun kestävyyden määrää R_{sall}-arvo.

Liite 2: Luja-pienpaalujen loppulyönnit eri murtorajatilan kestävyyksillä

Taulukoissa esitetään järkäleen liikkuvan osan loppunopeudet ja loppulyönti-painumat eri paalutyypeille eri murtorajatilan kestävyyksillä. Loppulyönti-painumat on esitetty 10:n lyönnin sarjan painumana.
Sallitut kuormat liitteen 1 mukaisilla laskentasäännöillä.

Loppulyönnit paalutyyppi Lpp1

Taulukko 10. Paalutyypin Lpp1 loppulyönnit, 10 lyönnin sarjan painuma [mm]

Paalutus-työluokka	Murtorajatilan kestävyys R_d [kN]	Sallittu kuorma R_{sall} [kN]	Järkäleen loppunopeus [m/s]	Paalun pituus [m]					
				≤ 5	10	15	20	30	40
	100	75	2,0	25	24	22	22	21	21
	150	113	2,4	22	21	21	20	20	20
	200	150	2,6	16	15	15	15	14	14
PTL1	239	180	2,8	13	12	12	11	11	11
PTL2	263	198	3,0	12	11	11	11	11	10

Loppulyönnit paalutyyppi Lpp2

Taulukko 11. Paalutyypin Lpp2 loppulyönnit, 10 lyönnin sarjan painuma [mm]

Paalutus-työluokka	Murtorajatilan kestävyys R_d [kN]	Sallittu kuorma R_{sall} [kN]	Järkäleen loppunopeus [m/s]	Paalun pituus [m]					
				≤ 5	10	15	20	30	40
	100	75	2,0	25	24	22	22	21	21
	150	113	2,4	22	21	20	20	20	20
	200	150	2,6	16	15	15	15	14	14
	250	188	3,0	14	13	13	13	13	12
PTL1	306	230	3,3	11	10	10	10	10	9
PTL2	337	254	3,6	11	11	11	11	10	10
PTL3	374	282	3,8	11	10	10	10	10	9

Loppulyönnit paalutyyppi Lpp3

Taulukko 12. Paalutyypin Lpp3 loppulyönnit, 10 lyönnin sarjan painuma [mm]

Paalutus-työluokka	Murtorajatilan kestävyys R_d [kN]	Sallittu kuorma R_{sall} [kN]	Järkäleen loppunopeus [m/s]	Paalun pituus [m]					
				≤ 5	10	15	20	30	40
	100	75	2,0	25	24	21	21	21	21
	150	113	2,4	22	21	20	20	20	20
	200	150	2,8	20	19	18	18	18	18
	250	188	3,1	17	16	16	16	16	15
	300	225	3,4	15	14	14	14	14	13
PTL1	331	249	3,6	12	12	12	12	11	11
PTL2	365	274	3,8	12	12	12	12	11	11
PTL3	405	305	4,1	11	11	11	10	10	10