

LAB-ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus
Talonrakennustekniikka

Matti Ojala

Teräsbetonisen palkkirakenteen vahvistaminen

Opinnäytetyö 2020

Tiivistelmä

Matti Ojala

Teräsbetonisen palkkirakenteen vahvistaminen, 57 sivua

LAB-ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma

Talonrakennustekniikka

Opinnäytetyö 2020

Ohjaajat: lehtori Petri Himmi, LAB-ammattikorkeakoulu, suunnittelupäällikkö

Lauri Karvonen, Sitowise Oy

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli syventyä teräsbetonisen palkkirakenteen vahvistamiseen ja käytettyihin menetelmiin korjaushankkeessa. Työssä tuotettiin suunnitteluohje korjausrakennuskohteiden palkinvahvistuksen suunnittelua varten. Työssä valmistui myös laskenta-alusta betonipalkin mantteloinnin mitoittamiseen. Ohje ja laskenta-alusta ovat tarkoitettu tilaajaorganisaatio Sitowise Oy:n käyttöön. Sitowise on yksi Suomen suurimmista suunnittelu- ja konsultointiyrityksistä ja suurin suomalaisomisteinen.

Opinnäytetyön teoriaosassa käsitellään korjausrakentamista ja siihen liittyvää rakennesuunnittelutyötä yleisellä tasolla. Teräsbetonista palkkirakennetta tutkittiin siihen liittyvien suunnitteluasioiden kautta. Palkkirakenteen erilaisia vahvistamistapoja, materiaaleja ja menetelmiä käsiteltiin ja niiden vaatimia suunnitteluasioita selvitettiin.

Työssä tulokseksi saatiin valmis mantteloinnin mitoituspohja, sekä palkinvahvistuksen ohjeistus aloittavien suunnittelijoiden käyttöön tilaajayrityksessä. Raportointiosassa perehdyttiin korjausrakentamiseen rakennesuunnittelijan näkökulmasta ja palkin vahvistamiseen keskittyen. Erilaisia vahvistamistapoja palkin vahvistamiseksi on paljon, ja korjausrakennuskohteessa tulisikin vertailla eri vahvistusvaihtoehtoja kyseisen vahvistustyön toteutuksen ja kustannusten kannalta kokonaisuutena.

Asiasanat: korjausrakentaminen, teräsbetoni, palkki, vahvistaminen

Abstract

Matti Ojala

Reinforced concrete beam strengthening, 57 pages

LAB University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Construction and Civil Engineering

Structural Engineering

Bachelor's Thesis 2020

Instructors: Mr. Petri Himmi, Lecturer, LAB University of Applied Sciences, Mr. Lauri Karvonen, Sitowise Oy

The purpose of the study was to learn how the strengthening of reinforced concrete beams could be done. Different strengthening methods were reviewed. A guide for new construction engineers were made to help to get to know to repairing beam structures. Also, a simple calculation platform was made for beam jacketing. The study was commissioned by Sitowise Oy.

Data for this study were collected by studying professional literature and publications. Also, internet sources were used. The study aims to give information about different concrete beam strengthening methods.

The result of the study was in three parts. Theory part was about different reinforced concrete beam strengthening systems. Second part was guide for new structure engineers to get to know how strengthening work for concrete beams can be made. Also, simple calculation platform about beam jacketing were produced. The guide and calculation platform are intended only for commissioner company's internal use. The results can be used to get information about different reinforcements for beam structures.

Keywords: concrete, beam, reinforcement

Sisällys

1	Johdanto	5
2	Korjausrakentaminen	6
3	Rakennesuunnittelutehtävät korjauskohteessa	9
4	Teräsbetoninen palkki korjausrakentamisessa	12
4.1	Betonin ominaisuudet	12
4.2	Teräsbetonipalkin rakenteellinen toiminta	12
4.3	Vaurioituminen	14
4.3.1	Raudoituksen vaurioituminen	15
4.3.2	Betonin vaurioituminen	15
4.4	Vaurioitumisen vaikutus rakenteen kestävyYTEEN	16
4.4.1	Alentunut taivutuskestävyys	16
4.4.2	Alentunut leikkauskestävyys	18
4.4.3	Alentunut vääntökestävyys	19
4.5	Kantavuuden parantaminen	20
4.6	Kuorman siirtyminen	22
4.7	Tartunnan varmistaminen	23
4.8	Kutistuminen	25
4.9	Laskentamenetelmä	26
4.10	Koekuormitus	26
4.11	Palkin rei'itys	27
5	Teräsbetonipalkin vahvistamisen menetelmät	29
5.1	Vahvistusmenetelmän valinta	29
5.2	Betonimanttelointi	30
5.3	Teräsvahvistaminen	33
5.3.1	Teräslevyllä vahvistaminen	33
5.3.2	Teräsprofiililla vahvistaminen	35
5.3.3	Vahvistaminen jännittämällä teräspunoksin	36
5.4	Hiilikuituvahvistaminen	37
6	Suunnittelussa erityisesti huomioonotettavia asioita	40
6.1	Työmaa	40
6.2	Suunnitelmat	41
7	Suunnitteluohje	44
8	Vahvistamisen laskentapohja	45
9	Laskentapohjalla vertailu manttelin materiaaleista	51
10	Yhteenvedo ja pohdinta	54
	Lähteet	56

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö on tehty Sitowise Oy:n tilauksesta. Sitowise Oy on yli 1700 ammattilaisen rakennetun ympäristön suunnittelu- ja konsultointiyritys. Se on myös alan suurin suomalaisomisteinen yritys. Sitowise Oy:llä on vankka kokemus kokonaisvaltaisten rakentamisen palveluiden tarjoamisesta koko rakennuksen elinkaarelle. (Sitowise 2020.)

Uusia korjauskohteita muodostuu jatkuvasti, kun rakennuskanta ikääntyy. Tämän vuoksi on tarvetta aiheita käsitteleville opinnäytetöille. Kyseiseen tarpeeseen opinnäytetyö pyrkii vastaamaan. Palkkirakenteen vahvistamisesta ei ole ollut kattavaa ohjeistusta yrityksen käyttöön. Opinnäytetyön tarkoitus on helpottaa aloittelevien suunnittelijoiden tiedonhankintaa ryhtyessä suunnittelemaan palkkirakenteen vahvistamista ensimmäistä kertaa. Suunnittelija saa tästä opinnäytetyöstä tietoa eri vahvistusmenetelmistä ja niiden käyttökelpoisuudesta erilaisissa kohteissa.

Työn tarkoituksena on tuottaa suunnitteluohje uusien korjausrakennesuunnittelijoiden käyttöä varten. Työssä luodaan myös yksinkertainen laskenta-alusta, jota voidaan käyttää teräsbetonipalkin mitoituksessa, jossa mantteloinnilla kasvataan palkin kokoa ja pyritään kasvattamaan sen kantokykyä. Ohjeistus ja laskenta-alusta jäävät yrityksen sisäiseen käyttöön.

Asuinrakentamisessa painotus siirtyy koko ajan enemmän kohti korjausrakentamista. Näin käy, koska suuri osa rakennuskannasta on joltain osin korjauksen tarpeessa, mutta rakennukset ovat vielä muuten käyttökuntoisia. Myös tilojen käyttötarkoituksen muuttaminen ja lisärakentaminen ylöspäin luovat tarpeen erityisesti kantavien rakenteiden korjaamiselle tai vahvistamiselle. Tämän vuoksi halusin valita aiheeksi korjausrakentamista koskevan aiheen.

Palkkirakenteiden vahvistamisen tuntemus on tärkeää, koska palkit ovat pilareiden ohella yleisiä runkorakenteita useissa asuin-, toimisto- ja teollisuusrakennuksissa. Palkkien tehtävä on siirtää vaakarakenteiden kuormia pilareiden tai seinien kautta alaspäin perustuksille, ja sitä kautta hallitusti maapohjaan. Palkit altistuvat kokonsa ja toimintansa vuoksi suurelle rasitukselle, eikä kapasiteettia ole juuri-

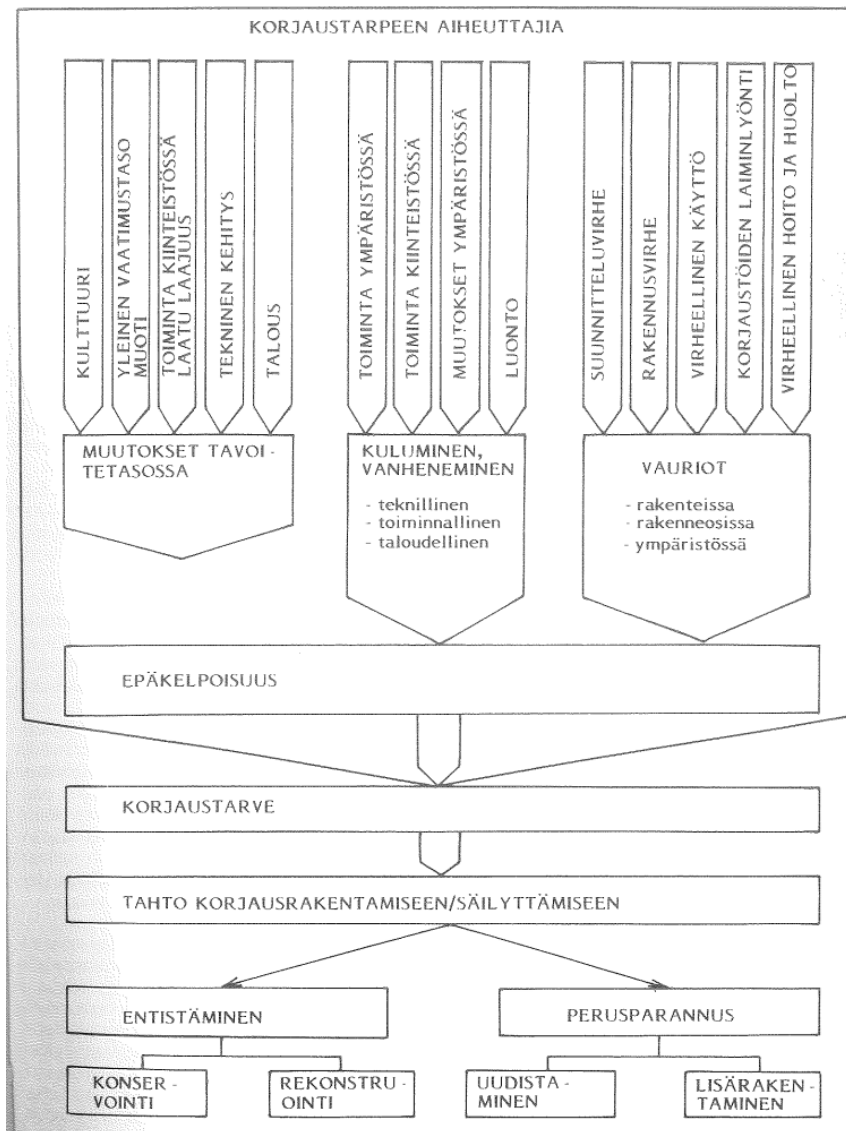
kaan ylimääräistä. Näin vahvistaminen tulee ajankohtaiseksi, jos palkin kantokyvyn epäillään heikentyneen tai kuormia kasvatetaan. Kantokyvyn heikentymisestä esimerkkinä toimia betonin pakkasrapautumisesta aiheutuvat pinta-ala menetykset palkissa. Kuormia saatetaan joutua kasvattamaan esimerkiksi silloin, kun tarvitaan lisää taloteknisiä järjestelmiä, ja ne joudutaan sijoittamaan rakennuksen yläpuolelle.

Työ suoritetaan perehtymällä aiheesta löytyvään kirjallisuuteen ja tilaajayrityksen toteutuneisiin hankkeisiin, sekä suorittamalla kyselyjä yrityksen suunnittelijoille. Kyselyissä tiedustellaan, minkälaista ohjeistusta tarvittaisiin uusille suunnittelijoille helpottamaan työhön ryhtymistä. Näistä kyselyistä ei kuitenkaan tehdä raportointia.

2 Korjausrakentaminen

Korjausrakentamisessa lähdetään siitä, että vanha rakennus on olemassa. Rakennuksella on tiettyjä ominaisuuksia ja rajoitteita, jotka on kaikessa suunnittelussa otettava huomioon. Vanha rakennus on käsitettävä kokonaisuutena ja sen rakenteen tunteminen kattavasti on onnistuneen korjaustyön edellytys. Huolellisella perehtymisellä kohteeseen voidaan välttyä muutos- ja lisärakentamisen kustannuksilta. Korjausrakentamisessa tulisi lähtökohtaisesti minimoida tehtävät muutokset. Tärkeimmäksi tavoitteeksi korjausrakentamiselle voidaan asettaa toimivien tilojen muodostaminen olemassa olevan rakennuksen puitteissa. (RIL K87 1987, 35; RIL174-4 1988, 36.)

Korjausrakentamiseen johtava syy on yleisesti se, että rakennus on jollain tavalla epäkelpoinen. Tätä epäkelpoisuutta pyritään poistamaan korjaamalla rakennusta. Epäkelpoisuuden rakenteelle voi aiheuttaa lukematon määrä tekijöitä yhdessä tai erikseen, kuten kuva 1 havainnollistaa. Korjausrakentamiseen voivat ajaa myös rakennuksille asetetut korkeammat tavoitetasot. Korjaustyön suunnitteluun ja toteutukseen vaikuttaa voimakkaasti se, onko korjaus teknisesti vaurioituneen rakenneosan korjaustyö, vai rakennuksen toiminnan muuttumisen aiheuttama muutostyö. (RIL 174-4 1988, 30–33.)



Kuva 1. Korjaustarpeen mahdollisia aiheuttajia (RIL 174-4 1988, 31)

Korjausrakentamiseen ryhdyttäessä tulisi aina suorittaa kuntotutkimuksia tarvittavissa määrin rakenteille. Tutkimusten laajuus riippuu rakenteen kunnosta, kuormituksista ja työn vaatimuksista. Mahdollisten vaurioiden takana oleva syy tulee selvittää, ja korjaaminen on tehtävä tämä asia silmällä pitäen. (RIL K87 1987, 35.)

Ryhdyttäessä korjaustyöhön lähtötietojen tulee olla selvillä ja niiden on oltava riittävät, jotta kantavien rakenteiden kapasiteettia voidaan arvioida. Rakennusaikeiden tietojen hankinta on tärkeää ja voimassa olleet normit-, sekä ohjeet tulee selvittää. Vanhat piirustukset on hankittava, jos niitä on saatavilla. Rakenteille on suoritettava silmämääräinen tarkastus. On myös suoritettava rakennetutkimus,

jotta saadaan selville rakennuksen toimintaperiaatteet. Rakennejärjestelmä sekä kantavien rakenteiden kunto on selvitettävä. Rakenneosien kapasiteetti on tutkittava laskelmin. Rakennuksen kantavien rakenteiden valokuvauksesta on usein hyötyä. Rakennusosista tulee laatia mittapiirustukset. (RIL K87 1987, 36.)

Olemassa olevien rakenteiden tarkastuslaskelmat on tehtävä samalla periaatteella, kuin alkuperäiset laskelmat on tehty. Vanhemmista rakennuksista ei välttämättä ole saatavilla lainkaan piirustuksia. Tällöin tärkeäksi työvaiheeksi muodostuu rakenteiden huolellinen kartoittaminen. Vanhojen rakennusten materiaalien laadussa esiintyy suurempia epätarkkuuksia kuin nykyaikana. Myös rakennustyön laadussa voi esiintyä huomattavia poikkeamia joissakin osissa rakennusta. Näin ollen nykyaikaisia varmuuskertoimia ei tule suoraan soveltaa vanhoihin rakenteisiin. Muutoinkin vanhoihin laskelmiin ja rakenteisiin tulisi suhtautua varauksella. (RIL K87 1987, 35–37; RIL 174-4 1988, 37.)

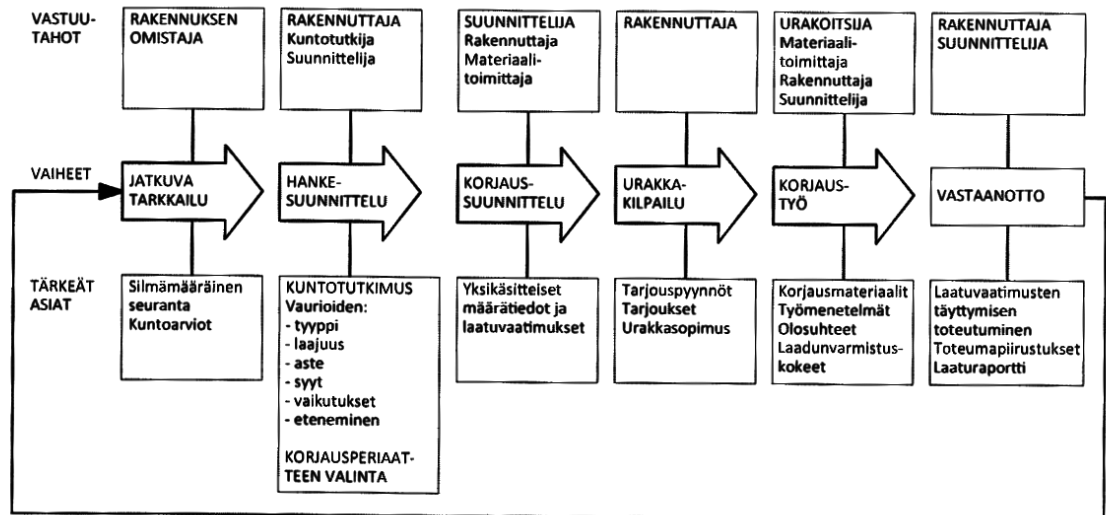
Eri aikakausina rakenteiden mitoituksessa on ollut käytössä eri mitoitusmenetelmiä. Nykyisin käytössä olevaa Eurokoodi-järjestelmää ennen Suomessa käytettiin Suomen rakennusmääräyskokoelman mukaisia mitoituksia. Sitä ennen käytössä on ollut sallittujen jännitysten menetelmä 1970-luvun lopulle. Rakenteita tutkittaessa ja arvioitaessa tulee huomioida aina rakentamisen ajankohta. On otettava myös huomioon aikakauteen liittyvät erityispiirteet, kuten materiaalityyppi ja virheelliset työmenetelmät tai ohjeet. (RIL 174-4 1988, 56; Arike 2017, 12.)

Vanhoja, rakennusaikaisia normeja voidaan soveltaa suunniteltaessa korjaushankkeita. Tulee kuitenkin huomioida mahdolliset suunnittelu- ja työvirheet, sekä käytetyt liian pienet varmuuskertoimet, esimerkiksi ennen vuotta 1966 käytössä olleet liian pienet lumikuormien arvot. Jos tarvittavia tietoja ei ole saatavilla tai riittävällä varmuudella ei voida käyttää näitä tietoja, on rakenteiden todellinen kestävyys ja toiminta selvitettävä tarkemmin. Tämä sisältää tutkimukset materiaalien laadusta, kuormituksista sekä toimintamallista. (RIL 174-4 1988, 57.)

Hankkeeseen ryhtyessä rakennuksen historia korjaustöiden osalta tulisi selvittää. Aina kuitenkin aikaisemmista korjaus- tai muutostöistä ei ole jäänyt tietoja, vaan suunnittelu on jäänyt työn toteuttajan vastuulle. Onkin erittäin tärkeää

tarkastella, onko esimerkiksi kantaviin rakenteisiin tehty aukotuksia, jotka voivat muuttaa rakenteen staattista luonnetta. (RIL174-4 1988, 57.)

Korjaushankkeeseen kuuluu monta eri vaihetta. Kuvassa 2 havainnollistetaan korjaushankkeen prosessia.



Kuva 2. Korjausrakentamishankkeen vaiheet (BY41 2016, 12)

Kuvasta ilmenee hankkeen aikajana ja vastuutahot eri osissa hanketta. Myös keskeisiä huomioitavia asioita on lueteltu vaiheittain. Merkille pantavaa on esitetyn kuvaajan jatkuvuus: Vastaanotosta tulisi siirtyä jatkuvaan tarkkailuun, jotta voidaan pysyä tilanteen tasalla rakenteiden kunnon osalta.

3 Rakennesuunnittelutehtävät korjauskohteessa

Rakennetutkimuksen tekeminen on tärkeä osa kantavien rakenteiden korjaamisesta. Rakennetutkimus tulisi suorittaa mahdollisimman varhaisessa vaiheessa korjausrakentamisprojektia. Näin rakennesuunnittelija pystyy suunnittelemaan mahdollisia korjauksia tai tilan käyttötarkoituksen muutoksia saatujen tutkimustulosten perusteella. (RIL-K87 1987, 37.)

Rakennetutkimusta ennen on laadittava tutkimusohjelma. Ohjelmassa on määriteltävä piirustuksiin, mistä kohdasta tutkitaan ja mitä toimenpiteitä tehdään. Tarpeellista on selvittää ainakin seuraavat asiat rakennuksesta (RIL-K87 1987, 37):

- perustamistapa, -syvyys, sekä pohjamaan laatu ja kantavuus
- perustusten rakenne ja kunto
- kellarin rakenteet ja kunto
- kantavat pystysuorat ja vaakasuorat ylärakenteet ja kunto
- yläpohjan rakenne ja kunto
- vesikaton rakenteet ja kunto
- materiaalien lujuusominaisuudet
- kuormitukset
- rakennus kokonaisuutena

Näiden lisäksi voidaan selvittää myös rakennuksen ei-kantavat ja talotekniset osat. Kantavien rakenneosien vahvistamisen kannalta oleellista on ymmärtää kunkin osan toiminta-, sekä rakennuksen kokonaisuus, eli rungon kantavien rakenteiden toiminta ja kuormitukset. (RIL K87 1987, 37.)

Korjaus- ja vahvistussuunnitelman tekijän olisi hyvä määritellä rakennetutkimuksen laajuus. Näin suunnittelija saisi riittävät lähtötiedot rakenteista ja voi laatia korjaus- ja vahvistussuunnitelmat tarkennetuilla lähtötiedoilla. (RIL K170 1995, 222.)

Rakennesuunnittelijan tulisi toimia korjauskohteessa alustavista suunnittelutehtävistä aina korjaustyön valmistumiseen ja takuuajan päättymisajankohtaan asti. Korjausrakentamisen rakennesuunnittelu poikkeaa siinä uudisrakentamisesta, että uudiskohteessa suunnitelmat voidaan tehdä valmiiksi ennen varsinaista rakentamista. Korjausrakennuskohteessa suunnittelua on kuitenkin tehtävä usein vielä rakennustyön edetessä. (RIL 174-1 1988, 258.)

Kuten edellä todettiin, vanhoista rakennuksista ei ole välttämättä säilynyt tarvittavia suunnitelmia, tai ne voivat puuttua kokonaan. Vaikka piirustukset ovat säilyneet, voi niissä olla puutteellisuuksia ja työmaalla voi olla tehty muutoksia suunnitelmiin. Näitä muutoksia ei ole kuitenkaan päivitetty lopullisiin piirustuksiin. Tarkkoja piirustuksia ei runkorakenteista välttämättä ole, joten rakenteet täytyy kartoittaa. Monesti runkorakenteet saattavat olla pintarakenteiden takana pii-

lossa, jolloin etukäteen ei tiedetä tarkkaan kantavista rakenteista. Runkorakenteiden todellinen sijainti ja dimensiot selviävät vasta, kun purkutyöt on aloitettu. Kartoitustyötä on pyrittävä tekemään vain siltä laajuudelta kuin on tarpeellista, jotta kustannukset pysyisivät hallinnassa. (RIL 174-1 1988, 258–259.)

Rakennesuunnittelun vaiheet korjausrakennushankkeessa voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen (RIL 174-1 1988, 259.):

1. alustavaan rakennesuunnitteluun
2. varsinaiseen rakennesuunnitteluun
3. korjaustyön aikaiseen rakennesuunnitteluun

Rakennesuunnittelun alussa on selvitettävä rakenteiden kantokyky ja kunto. Tärkeää on pyrkiä heti korjaushankkeen alkuvaiheessa luomaan mahdollisimman kattava pohja erilaisille toteutusvaihtoehdoille. Rakenteista joudutaan tekemään jonkin verran oletuksia. Siksi tärkeää on pyrkiä riittävän kattavaan suunnitteluun, jotta voidaan luoda hyvä pohja vahvistustyön toteutustavan valinnalle ja vähentää projektin loppuosan työmäärää. (RIL 174-1 1988, 258–259.)

Alkuperäisten suunnitelmien puutteet ja virheellisyydet on pyrittävä tarkistamaan. Rakennesuunnittelijan tehtävä on selvittää, millaiset ovat rakenteiden mitat, kantavuudet, teräsmäärät ja lujuusluokat. Rakennesuunnittelijan on selvitettävä, miltä ajalta rakenteet ovat, sekä millä menetelmällä ja minkä määräysten mukaan ne on mitoitettu. Näin voidaan varmistua siitä, millaisille kuormille rakenne on alun perin suunniteltu. (RIL 174-1 1988, 258–259.)

Rakennesuunnittelijan tulee laatia korjaus- ja vahvistamissuunnitelma kohteesta. Suunnitelma poikkeaa uudisrakentamisen suunnitelmista sisällöltään. Vanhat rakennepiirustukset, rakenteen analysointi, tarkemittaukset sekä kuntoselvitykset ovat olennainen osa vahvistussuunnitelmaa. Vanha rakenne on pyrittävä esittämään mahdollisimman tarkoin. Rakennusaikana tai sen jälkeen tehtyjä muutoksia ei ole välttämättä viety vanhoihin suunnitelmiin, joten piirustusten oikeellisuus tulisi aina tarkistaa paikan päällä. Kuormien siirtyminen perustuksille ja muutosten teko näihin reitteihin tulisi aina tarkastaa. Myös rakennuksen kokonaisstabiiliuteetti tulisi tarkastaa huolella. (RIL 149 1995, 232–238; RIL K170 1995, 283–284.)

Rakennesuunnittelijan on annettava työmaalle seikkaperäiset selostukset tehtävistä töistä. Myös kuormien siirto uudelle rakenteelle tulee suunnitella siten, että tarvittavat tilapäistuennat ovat tiedossa ja niiden asentaminen mietitty. Teräs on suositeltava materiaali tilapäistuennoissa, sillä sen muodonmuutokset ovat pieniä. (RIL 174-1 1988, 258–259.)

Rakennesuunnittelun jatkuessa ja korjaustyön alkaessa on varauduttava nopeisiin muutoksiin suunnitelmissa, jos todellinen rakenne poikkeaa huomattavasti arvioidusta. Tällöin rakennustyön ja suunnittelun on jatkuttava muuttuneesta tilanteesta huolimatta mahdollisimman nopeasti, jotta aikataulussa pysyttäisiin. (RIL 174-1 1988, 258–259.)

4 Teräsbetoninen palkki korjausrakentamisessa

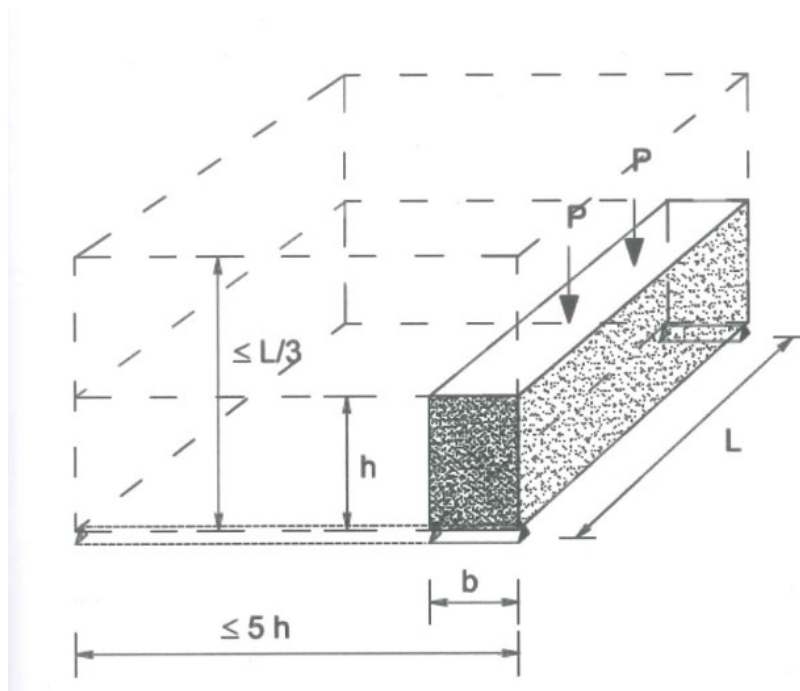
4.1 Betonin ominaisuudet

Betonin rakennusosat ovat kiviaines, sementti sekä vesi. Lisäksi valmistuksessa voidaan käyttää erilaisia lisä- ja seosaineita. Sementin ja veden reagoidessa muodostuu hydratoitumistuotteena sementtikiveä ja betonin lujuus alkaa kehittyä. Sementtikivi koostuu geelihiukkasista sekä sitoutumattomasta sementistä. Betonissa on myös sitoutumatonta vettä. Lisäksi betoniin muodostuu huokostiloja, jossa on erisuuruisia huokosia. Sementtikivi on emäksistä, pH-luku on noin 12–13. Se on heikoin betonin osa ulkoisia rasituksia vastaan. (Betoniteollisuus ry. a.)

4.2 Teräsbetonipalkin rakenteellinen toiminta

Teräsbetonipalkilla tarkoitetaan rakenneosaa, joka on sauvamainen, ja jossa vaikuttaa pääasiassa palkin pituusakselin suuntaisia voimia. Pääasialliset rasitukset ovat taivutus- ja leikkausrasituksia. Muita rasituksia ovat esimerkiksi normaali-voima ja vääntö. Betonirakenteiden suunnittelu oppikirja (By 211 2013) määrittelee palkin dimensiot seuraavasti (kuva 3):

Palkin poikkileikkauksen leveys (b) on pienempi kuin 5 kertaa korkeus (h). Jos rakenne on leveämpi, on kyseessä laatta. Palkin jännemitta (L) on vähintään 3 kertaa korkeus. Muussa tapauksessa kyseessä on kyse korkeasta- tai seinämäisestä palkista.



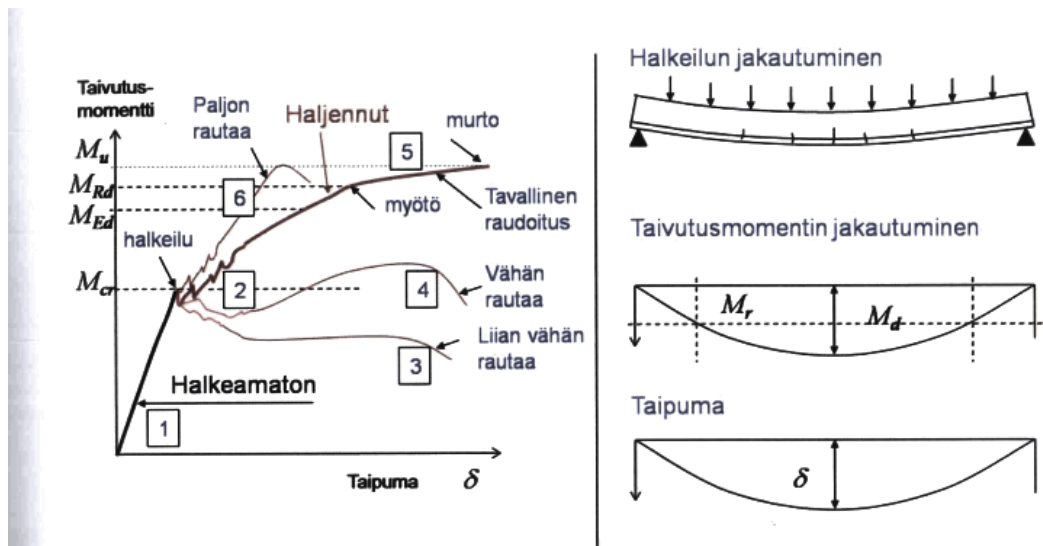
Kuva 3. Palkin määrittely dimensioiden avulla (By 211 2013, 81)

Mahdollisia palkin poikkileikkausmuotoja ovat suorakaide, laattapalkki, I-palkki sekä leukapalkki. Poikkileikkaukset ovat yleensä vakioita koko palkin matkalla. Palkki voi myös olla harjamainen, jolloin korkeus kasvaa keskelle päin. I- ja harjapalkkeissa käytetään päätyvahvisteita. (By 211 2013, 81.)

Palkit voivat olla kaksitukisia, jatkuvia palkkeja, ulokepalkkeja tai näiden yhdistelmiä. Tukiehtojen mukaan palkit voivat olla joko staattisesti määrättyjä tai määräämättömiä rakenteita. Staattisesti määräämättömissä rakenteissa tulee ottaa huomioon rakenteen jäykkyys, sillä se vaikuttaa voimasuureisiin. (By 211 2013, 83.)

Teräsbetonirakenteen toiminta perustuu siihen, että betonilla on suuri puristuskestävyys. Betoniin asennetaan vetorasituksia varten rauditus. Raudoituksella on betonia huomattavasti suurempi vetokestävyys. Näin ollen rakenteessa nämä kaksi täydentävät toisiaan. (Betoniteollisuus ry. b.)

Yksiaukkoisen staattisesti määrätyn teräsbetonipalkin toimintaa ja käyttäytymistä voidaan havainnollistaa kuvalla 4. Taipuma on riippuvainen taivutusmomentin suuruudesta. Taivutusmomentti taas muodostuu palkin pituudesta ja kuormituksista. Momentin suuruuteen ja sijoittumiseen palkissa vaikuttavat myös kiinnitysreaktiot.



Kuva 4. Teräsbetonisen palkin käyttäytyminen taivutusrasitettuna taipuman suhteen (By 211 2013, 87)

Kuvassa on esitetty raudoituksen määrän vaikutus palkin taivutusmomenttikestävyyteen taipuman suhteen. Kuvasta voidaan havaita tavallisen raudoituskannan olevan sopiva sen rakenteen toiminnalle tarjoamien ominaisuuksien takia. Tavallinen raudoituskanta antaa rakenteelle mahdollisuuden taipua ennen murtoa. Näin voidaan havaita silmämääräisesti, kun palkin kestävyys on ääriarvoilla. (By 211 2013, 87.)

4.3 Vaurioituminen

Rakenteen vaurioitumisen voi aiheuttaa useampi eri tekijä tai niiden yhteisvaikutus. Esimerkiksi tulipalo, räjähdys ja törmäys ovat mahdollisia äkillisiä vaurioitumisen aiheuttajia. Nämä aiheuttajat ovat usein havaittavissa silmämääräisessä tarkastelussa. (RIL 174-4 1988, 100.)

Kantavien rakenteiden vaurioiden aiheuttaja on kosteus, biologiset, kemialliset ja sähkökemialliset tekijät. Fysikaalisesti rakenteiden liian suuri kuormitus ja kuluminen voivat vaurioittaa rakenteita. Lämpötila ja sen vaihtelu voivat tehostaa vaurioitumista. Betonirakenteen jatkuva sulaminen ja jäätyminen aiheuttaa betonissa pakkasrapautumista, jos betoni ei sisällä tarpeeksi suojahuokosia, jossa jäätyvä vesi pääsee laajenemaan. Laadukkaalla suunnittelulla ja rakentamisella pyritään ehkäisemään vaurioiden syntymistä rakennuksen käyttöajan aikana. (RIL K170 1995, 191–201.)

4.3.1 Raudoituksen vaurioituminen

Runkorakenteiden vaurioituminen vaikuttaa ratkaisevasti rakenteeseen ja sen käyttöikänsä. Vauriot ovat yleisesti runkorakenteissa joko pinta-alan menetyksiä tai materiaalien lujuuden alenemista. Rakenne ei enää kestäkään sille mitoitettuja kuormia tai varmuusaste ei ole enää riittävä. (RIL K170 1995, 191.)

Betoni voi rasiutusten vaikutuksesta karbonatisoitua, ja aiheuttaa korroosiota raudoituksessa. Karbonatisoitumisella tarkoitetaan ilmassa olevan hiilidioksidin sitoutumista sementin kalsiumhydroksidin kanssa. Tästä aiheutuu betonin neutraalointuminen sen ulkopinnasta alkaen. Karbonatisoitumisvyöhykkeen saavuttaessa raudoituksen alkaa aktiivinen korroosio. Jos ympäristössä vaikuttaa Cl eli kloridi, alkaa korroosio heti. Jos betonin ympäristössä ei vaikuta klorideita ja vaikuttajana on vain hiilidioksidia, tapahtuu teräksen pinnassa passivoituminen. Tämä pysäyttää ja estää aktiivista korroosiota niin kauan, kunnes betonipeite on kauttaaltaan karbonatisoitunut. Vanhoissa rakenteissa korroosionvaurion voi aiheuttaa liian pieneksi jäänyt betonipeite. Tällöin raudointus on liian lähellä betonin pintaa, ja tämä altistaa raudoitukset korroosiolle. (Betoniteollisuus ry. c.)

Vanhassa rakenteessa palkin kantokyvyn tutkimisessa tulisi piikata terästen ympäriltä suojaava betonikerros, jotta päästään tutkimaan palkin raudointusta. Piikkaus kannattaa tehdä jännevälin keskimmaiselta kolmannekselta määrätyltä alueelta, jotta nähdään, millainen raudointus on kovimman taivutusrasituksen alueella. Rakenteiden tukeminen tulee tehdä ennen piikkauksen aloitusta. (RIL K87 1987, 39.)

4.3.2 Betonin vaurioituminen

Virheellinen betonin rakenneosasten eli sementin, kiviaineksen ja veden sekä li-säaineiden suhde voi aiheuttaa ennen aikaista rakenteiden vaurioitumista. Betonissa oleva ilmamäärä voi olla riittämätön, jolloin jäätyessään betoni halkeilee. Jäätyessään betonissa oleva vesi laajenee noin 9 %. Jos betonissa ei ole tarpeeksi suojahuokosia, betoni halkeaa jäätyessään. Myös liian suuri ilmamäärä voi aiheuttaa ongelmia. Viruma ja rakenneosien väsyminen voi kasvattaa halkeilua, nämä halkeamat edesauttavat raudoituksen korroosiota. (RIL K170 1995, 201.)

Raudoituksen suojapeitteen ollessa riittämätön, tai karbonatisoitumis-vyöhykkeen edetessä raudoitukseen asti, alkaa ruostuminen. Ruostuessaan teräs laajenee pinta-alaltaan jopa kaksinkertaiseksi alkuperäiseen pinta-alaan nähden ja halkaisee betonia. Betoni saattaa lohjeta pinnasta ja tämä altistaa yhä suuremman pinta-alan teräksestä ruostumiselle alttiiksi ja kiihdyttää rakenteen rapautumista. Ruostumista ei kuitenkaan yleensä tapahdu lämpimissä sisätiloissa. (RIL K87 1987, 11–16.)

Usein vanhan palkin mahdollisten vaurioiden syy on helposti nähtävillä. Tutkimuksia tarvitaan enemmän, jos syy vaurioille on suunnitteluvirheissä, ylikuormituksessa tai valmistuksessa. Vaurioiden ulkonäöstä voidaan myös päätellä syitä sen muodostumiselle. (RIL K87 1987, 89.)

Selvitettäviä asioita vahvistamista ja korjausta suunniteltaessa on monia: Miten rakenne on suunniteltu ja miten se toimii? Mikä on rakenteen kapasiteetti? Mitä materiaalia rakenteessa on käytetty? Mitä korjauksessa tulisi käyttää, ja miten materiaalien yhteistoiminta varmistetaan? Myös korjaustyön vaikutus muihin rakenteisiin on selvitettävä. (RIL K87 1987, 89.)

4.4 Vaurioitumisen vaikutus rakenteen kestävyys

Vaurioituminen vaikuttaa teräsbetoniseen palkkiin monella tapaa. Betonin puristuslujuus voi heikentyä, esimerkiksi betonin rapautumisen vuoksi. Korroosion takia terästen tehollinen pinta-ala pienenee. Palkin taivutusjäykkyys alenee, ja uusi jäykkyys tulee selvittää. Myös taipumat kasvavat rakenteessa ja mahdollisesti ympäröivissä rakenteissa. (RIL K170 1995 197–202.)

4.4.1 Alentunut taivutuskestävyys

Teräsbetonisen suorakaidepoikkileikkauksen alentunut taivutuskestävyys Mu saadaan kaavasta (RIL K170 1995, 203):

$$M_u = A'_s \cdot f_{yd} \cdot (d - d') + (A_s - A'_s) \cdot f_{yd} \cdot \left[1 - \frac{(A_s - A'_s) \cdot f_{yd}}{2 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd}} \right]$$

A_s	vetoteräsmäärä	m^2 ($A_s > A'_s$)
A'_s	puristusteräsmäärä	m^2
f_{yd}	terästen laskentalujuus	MN / m^2
d	rakenteen hyötykorkeus	m
d'	puristusterästen etäisyys puristetusta reunasta	m
b	poikkileikkauksen leveys	m

(1)

Yhtälöä voidaan käyttää, kun selvitetään vaurioituneen suorakaidepoikkileikkauksen jäljellä olevaa taivutuskestävyyttä. Kaava huomioi betonin alentuneen kestävyys ja pinta-alan, sekä terästen mahdollisesti alentuneen poikkipinta-alan. Rakenteiden vaurioituminen alentaa taivutusjäykkyyttä. Näin ollen staattisesti määräämättömissä rakenteissa tulee tarkastaa kokonaisuutena uusi voimien jakaantuminen kantaville rakenteille, ja niissä tapahtuvat rasitukset ja taipumat. (RIL K170 1995, 203–204.)

Taivutusmomenttipinta voidaan määrittää plastisuusteoriaa hyödyntäen likimääräisesti (RIL K170 1995, 204):

$$\frac{d^2 M}{dx^2} = -q$$

$$\frac{d^2 w}{dx^2} = -\frac{M}{EI}$$
(2)

Jos asetetaan M/EI -pinta kuormaksi, saadaan "taivutusmomenttipinnan" taipumaviiva. Kyseisiä kaavoja voidaan soveltaa, kunhan tasapainoehtojen täyttymisestä huolehditaan. (RIL K170 1995, 204.)

4.4.2 Alentunut leikkauskestävyys

Leikkausraudoitetun teräsbetonisen suorakaidepoikkileikkauksen alentunut leikkauskestävyys V_u voidaan arvioida kaavasta (RIL K170 1995, 204):

$$V_u = 0,50 \cdot b \cdot d \cdot f_{ctd} + 0,9 \cdot \frac{A_{sv}}{s} \cdot d \cdot f_{yd} \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha) \quad (3)$$

f_{ctd}	betonin vetolujuus	MN / m^2	
A_{sv}	leikkausraudoituksen leikkeiden yhteen –		
	laskettu pinta – ala	m^2	
s	hakaväli	m	
α	leikkausraudoituksen kaltevuuskulma.		

Leikkausraudoittamattomissa palkeissa kestävyys V_u saadaan yhtälöstä (RIL K170 1995, 205):

$$V_u = 0,3 \cdot k \cdot (1 + 50 \cdot p) \cdot f_{ctd} \cdot b \cdot d$$

$$k = 1,6 - d \quad \text{m}; [d] = \text{m} \quad (4)$$

$$p = \frac{A_s}{b \cdot d} \leq 0,02$$

Ohutuumaisissa palkeissa leikkauskestävyyden ylärajana toimii (RIL K170 1995, 205):

$$V_{u,max} = k \cdot b \cdot d \cdot f_{cd}$$

$$k = 0,25 \cdot (1 + \cot \alpha) \quad (5)$$

4.4.3 Alentunut vääntökestävyys

Vääntöraudoittamattoman rakenteen vääntökestävyys voidaan laskea (RIL K170 1995, 205):

$$T_u = 0,3 \cdot f_{ctd} \cdot W_{te}$$

$$W_{te} \quad \begin{array}{l} \text{poikkileikkauksen kimmoteoreettinen} \\ \text{vääntövastus} \quad m^3. \end{array} \quad (6)$$

Vääntöraudoitetun rakenteen vääntökestävyys voidaan arvioida kaavasta (RIL K170 1995, 206):

$$T_u = 2 \cdot A_{ef} \cdot \sqrt{\frac{A_{st} \cdot f_{ytd}}{s} \cdot \frac{A_{sl} \cdot f_{yld}}{u_{ef}}}$$

A_{ef} ja u_{ef} ovat pitkittäis tan kojen painopisteakseleiden kautta piirretyn monikulmion pinta – ala ja piiri (7)

A_{st} vääntöhaan poikkipinta – ala m^2

A_{sl} pitkittäis tan kojen poikkipinta – alojen summa m^2

f_{ytd} vääntöhakojen laskentalujuus MN / m^2

f_{yld} pitkittäis tan kojen laskentalujuus MN / m^2 .

Vääntökestävyyden yläraja on kuitenkin (RIL K170 1995, 206):

$$T_{u, max} = 0,25 \cdot f_{cd} \cdot W_{tr} \quad (8)$$

W_{tr} kotelopoikkileikkauksen vääntövastus m^3 .

4.5 Kantavuuden parantaminen

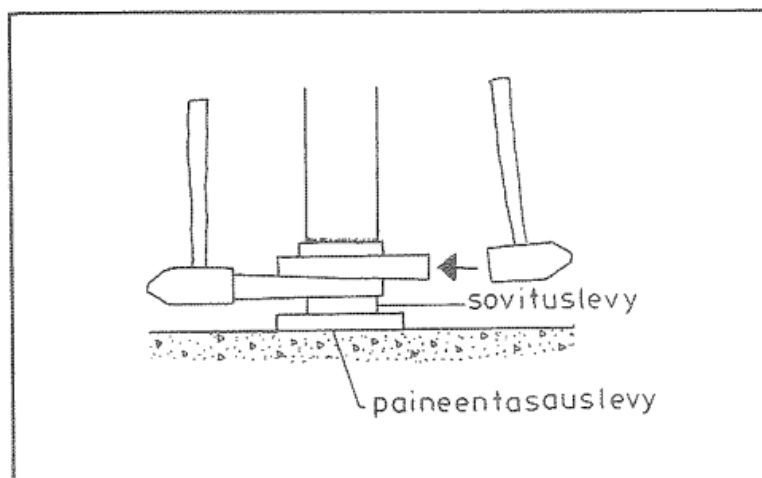
Palkkien kantavuutta voidaan lisätä kasvattamalla raudoituksen pinta-alaa, tai lisäämällä betonia rakenteen puristus- tai vetopuolelle riippuen siitä, mikä on kestävyyttä rajoittava tekijä. Jos rakenne on vaurioitunut, poistetaan yleensä heikentynyt betoni rakenteesta, minkä jälkeen varmistetaan yhteistoiminta vanhan ja uuden rakenteen välillä. Tartunta on yleensä varmistettava vanhan rakenteen läpäisevällä raudoituksella. (By 41 2016, 79.)

Rakenteen kantokyky on selvitettävä laskelmin. Lähtötiedoiksi tarvitaan poikkileikkauksen mitat, raudoitusmäärät ja niiden sijainti sekä raudoituksen ja betonin lujuudet. Tarvittaessa koko rakennetta ei tarvitse vahvistaa, jos laskelmin voidaan osoittaa rakenteen kestävä uudet kuormitukset. Kriittisten kohtien vahvistaminen saattaa riittää vahvistustyössä. (RIL K170 1995, 276.)

Vanhojen betonirakenteiden mitoituksessa on usein pyritty säästämään materiaalikulussa, koska materiaalit ovat olleet kalliita suhteessa työn hintaan. Tämän vuoksi teräsbetonirakenteet on usein mitoitettu suurella käyttöasteella ja ylimääräistä kapasiteettia ei välttämättä ole. Erillisen hakaraidoituksen puute on myös yleistä. Monesti osa alapinnan teräksistä on nostettu tuen lähellä palkin yläpintaan korvaamaan hakaraidoitusta. Hyötykuormien laskemisessa on käytetty nykyisiä säädöksiä pienempiä arvoja, eikä kaikkia luonnonkuormia ole välttämättä edes huomioitu. (RIL K170 1995, 277.)

Vanhojen betoniteräksien hiilipitoisuus on sen verran korkea, etteivät nämä välttämättä sovellu sellaisinaan hitsattaviksi. Tämä on otettava huomioon suunniteltaessa uusia rakenteita, jotka liitetään vanhoihin. Betoniraidoitusten hitsattavuus on tutkittava, jos vanhoihin teräksiin halutaan kiinnittää jotakin hitsaamalla. (RIL K170 1995, 277.)

Rakennesuunnittelijan on pohdittava, miten kuormien siirto tapahtuu vanhalta rakenteelta uudelle. Ennen palkin vahvistamistyötä on pohdittava, pystyttäisiinkö kuormia siirtämään muille rakenteille. Näin voitaisiin mahdollisesti välttää kokonaan palkkien vahvistaminen, ja näin saataisiin tila- tai kustannussäästöä. Usein kuormien siirrossa käytetään esijännitystä, eli pyritään pienentämään rakennesien painumia. Esijännitys voidaan suorittaa esimerkiksi kiilaamalla, kuten alla kuvassa 5 on esitetty. (RIL 174-1 1988, 262–263.)



Kuva 5. Rakenteen kiilauksen periaate (RIL 174-4, 146)

Rakennetta vahvistettaessa on pohdittava, miten uusi rakenneosasto toimii. Nämä eri toimintatavat voidaan jakaa seuraavasti neljään eri tapaukseen (RIL K87 1987, 90.):

1. täydellinen yhteistoiminta
2. osittainen yhteistoiminta
3. uusi rakenne kantaa kaikki kuormat
4. uusi rakenne toimii omana rakenteenaan, ja vanha omanaan

Käytännössä täydellinen yhteistoiminta tarkoittaa sellaista tilannetta, jossa vanha ja uusi rakenne toimivat, kuten ne olisivat yksi yhtenäinen rakenne. Osittainen yhteistoiminta tarkoittaa sellaista tilannetta, että voimat siirtyvät osittain rakenneosalta toiselle, mutta esimerkiksi liukumaa voi tapahtua rajapinnassa, jonka vuoksi täydellinen yhteistoiminta ole mahdollista. Uusi rakenne voidaan asettaa kantamaan kaikki kuormat, jolloin vanhan rakenteen kannateltavaksi ei jää kuormia. Mahdollista on myös se, että uusi rakenne on erillinen rakenne, joka ottaa uusien rakenteiden kuormat ja vanha rakenne jää toimimaan omanaan kantaen osan kuormista.

4.6 Kuorman siirtyminen

Kuorman siirtyminen on varmistettava, koska muutoin riskinä on, että vahvistuksesta huolimatta kuormat ovat vielä vanhan rakenteen kannateltavana. Ruotsalaisen ohjeen (Förstärkning av betongkonstruktioner, Stochholm 1978) mukaan mantteloinnissa uuden betonin kapasiteetista tulisi huomioida vain 60 %, jos rakenne toimii yhteistoiminnassa (RIL K170 1995, 290.) Jos uusi manttelointi toimii itsenäisenä ja kantaa kaikki kuormitukset, voidaan sen kestävyys huomioida kokonaan.

Kuorma siirtyy palkeissa vanhalta palkilta uudelle joko tartunnan kitkan, betoni-vaarujen tai teräsvaarujen kautta. Keskeisissä rakenteissa, joissa on suuria kuormia, käytetään tartunnan varmistamiseksi vaarnatappeja tai vetopultteja. Näin voidaan varmistaa kuormien välittyminen vanhalta rakenteelta uudelle. Pienemmillä kuormilla pelkkä kitka voi riittää, mutta sitkeyden kannalta olisi hyvä

varmistaa voimien siirtyminen teräsvaarnoilla. Murtorajatilassa ja käyttörajatilassa rasi-
tusten tulisi pysyä sallitulla alueella. Käytännössä, jos rakenne toimii
murtorajatilassa, toimii se yleensä myös käyttörajatilassa. (RIL K170 1995, 290–
291; Arike 2017, 98.)

Teräsvaarnojen (kiila-ankkurien) merkitystä havainnollistaa kuva 6/3/. Palkissa (VB2)
ankkurointi on kokonaan betonin tartunnan varassa ja palkissa (VB1) ankkurointi on
kokonaan hoidettu teräsvaarnojen avulla.

- VB1 wurde mit 29 HILTI-Verbundankern M 16 in gleichmäßigen Abständen von 15 cm in versetzter Anordnung vorschrit-
tengemäß ausgelegt;
- in VB2 wurden nur an den Enden der Spritzbetonverstärkung je 2 HILTI-Verbund-
anker M 10 eingebaut.

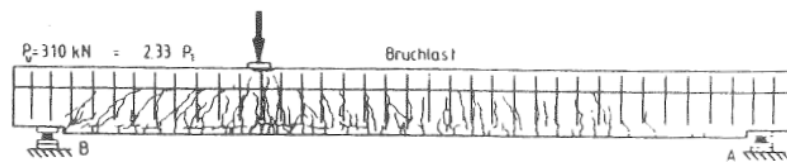
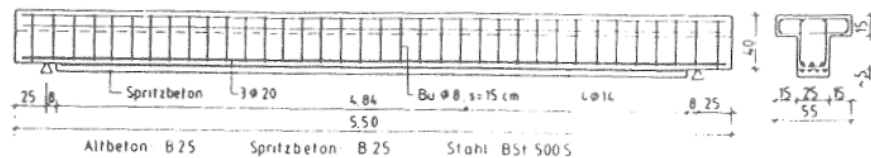


Fig. 5 Rißbilder Balken VB1, Versuchslauf 1 (l = 5 m)

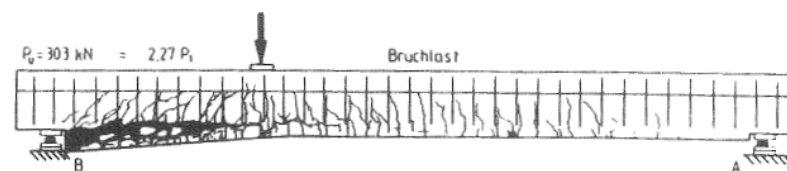


Fig. 6 Rißbilder Balken VB2, Versuchslauf 1 (l = 5 m)

Kuva 6. Teräsvaarnojen vaikutus mantteloidun palkkirakenteen kapasiteettiin
(RIL K170 1995, 291)

Kuvassa 6 havainnollistetaan teräsvaarnojen tarpeellisuus raskaassa kuormituk-
sessa. Palkin alle on valettu raudoitettu manttelointi. Kuvan keskimmaisessa pal-
kissa tartunta on varmistettu teräsvaarnoja käyttäen, kun alimmassa palkissa
taas tartunta on vain betonin varassa.

4.7 Tartunnan varmistaminen

Korjaustyössä on saatava vanhan ja uuden betonin välille riittävän hyvä tartunta,
jotta korjaustyö onnistuu ja vanha ja uusi betonirakenne toimivat mahdollisimman

yhtenäisenä eli monoliittisesti. Tämän vuoksi kaikki vaurioitunut, halkeillut sekä irtonainen betoni on poistettava vanhasta rakenteesta. Puhdistaminen voidaan suorittaa sinkopuhalluksella, korkeapainepesurilla tai hiekkapuhalluksella. Huomioitavaa on se, että käytettäessä voimakasta koneellista piikkausta, aiheuttaa se pieniä halkeamia, jotka heikentävät rakennetta ja liitospintaa. (RIL K170 1995, 286.)

Raudoitteiden paljastaminen ei ole välttämätöntä, mutta jos ne joudutaan paljastamaan esimerkiksi korroosion vuoksi, on betonia poistettava siten, että rakenteen tankojen ympärille jää vapaata tilaa, joka on suurempi arvoista: 10 mm ja 1,5 kertaa tangon halkaisija. Teräkset on puhdistettava määritellylle puhdistusasteelle, ettei rakenteeseen jää ruostetta. Vaurioituneet teräkset tulee tutkia ja tarvittaessa lisätä menetettyä kapasiteettia erikseen suunnitellulla raudoituksella. (RIL K170 1995.)

Tärkeä tekijä vanhan ja uuden betonin liittotoiminnan varmistamisessa on uuden betonin mahdollisimman pieni ominaiskutistuma. Tämä voidaan suorittaa käyttämällä pientä vesi- ja sementtimäärää sekä oikeanlaisella rakeisuuskäyrällä olevaa kiviainesta. Jälkihoito on suunniteltava huolellisesti ja toteutus on tehtävä tarkoin. Tällä on suuri vaikutus betonin kutistumiseen sekä halkeamien syntyyn. (RIL K170 1995, 280.)

Käytettäessä normaalia betonia on tärkeää, että tärytys suoritetaan huolellisesti. Tärytysenergia pitäisi saada uuden ja vanhan betonin rajapintaan ja tärytyksen kesto tulisi olla sopiva. Liian lyhyt tärytys ei tiivistä rakennetta, liian pitkä häiriöittää betonia. Itsetiivistyvää betonia käytettäessä ei tiivistämistä tarvita, jolloin tärytysongelmaa ei synny. Itsetiivistyvä betoni soveltuu haastavampiin kohteisiin ja palkkien manttelointiin hyvin. Betonin pumppaus voidaan tehdä alapuolelta tai sivusta. (Anttila & Vuorinen; RIL K170 1995, 280.)

Korjattavan kohdan reunat on pyrittävä saamaan suoraviivaisiksi. Leikkauksia terävässä kulmassa tai ohennettuja paikkausreunoja tulee välttää. Betonia tulee pitää kostutettuna noin 1 – 2 vrk:n ajan ja 1 vrk ennen korjaustoimenpidettä annetaan pinnan kuivua. Tartunta-aineilla voidaan joissakin tapauksissa tehostaa

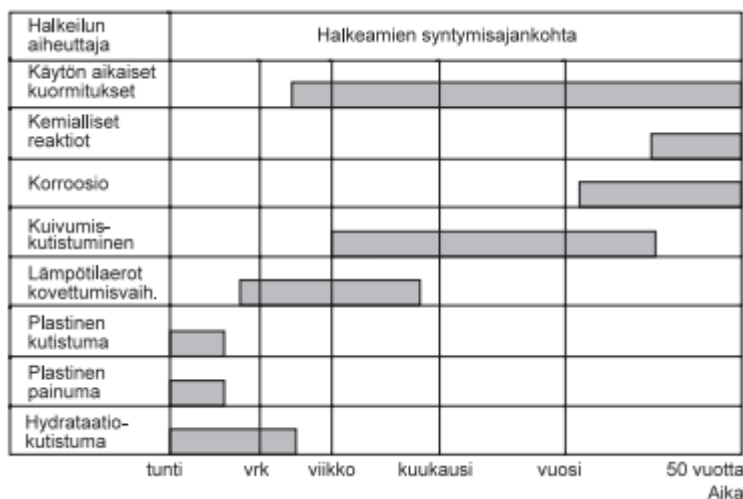
tartuntaa. Ennen käyttöä tulee varmistaa testeillä, että tartunta-aine soveltuu käytettäväksi kyseisille materiaaleille ja olosuhteille. (RIL K170 1995, 280.)

4.8 Kutistuminen

Kun betonipalkkia vahvistetaan mantteloimalla, tulee ottaa huomioon, että uusi betoni kutistuu suuremmalla nopeudella kuin vanha. Tästä aiheutuu pakkovoimia materiaalien rajapintaan. Nämä pakkovoimat tulee ottaa huomioon halkeamaleveyksien ja jännitysten laskennassa. Kutistumista tulisi rajoittaa siten, ettei se saa aikaan halkeamia materiaalissa. Kutistuminen ei saa aiheuttaa ongelmia vanhan ja uuden betonin välisen kitkan muodostumiselle ja näin estää monoliittisen rakenteen muodostumista. (Liikennevirasto 2011, 36.)

Kutistumiseen voidaan kuitenkin vaikuttaa monilla keinoin. Valitaan betonille so- piva vesi-sementtisuhde, kiviaineksen kokoa kasvatetaan, käytetään kuituja ja tiivistetään massa huolella. Raudoitusmäärällä voidaan myös vaikuttaa kutistumi- seen. Jälkihoito on tärkeää, jotta rakenne kuivuu hallitusti. Uuden betonin lujuu- den tulisi antaa kehittyä kunnolla, ennen rakenteen kuormittamista. (Liikennevi- rasto 2011, 36; Liikennevirasto 2016, 6.)

Kuvassa 7 on esitetty halkeamien syitä esiintymisajankohdan mukaan.



Kuva 7. Betonirakenteen halkeamisen syyt ajankohdan funktiona (Komonen 2010, 429)

Kutistumisen pääsyy on betonista poistuva vesi. Varsinkin ensimmäisten päivien aikana tulisi veden haihtumista betonista rajoittaa. Tämä voidaan tehdä oikeanlaisessa jälkihoidolla ja näin estetään halkeamien syntyä. Esimerkkinä jälkihoidosta voisi olla valun pinnan suihkuttaminen jälkihoitoaineella heti valun jälkeen, ja sitoutumisen alettua valun pitäminen kosteana sen jälkeen. Lujituskehityksen aikana lämpötilan pitäisi pysyä tasaisena ja useissa tapauksissa plusasteisena betonin jäätymislujuuden saavuttamiseen asti. Tietyillä erikoisbetoneilla voidaan kuitenkin vaikuttaa tähän. Todellisuudessa betoni kutistuu aina, jolloin tulisikin vain varautua siihen, että voidaan minimoida kutistumisen vaikutukset. (Komonen 2010.)

4.9 Laskentamenetelmä

Vanhojen piirustusten puuttuessa joudutaan usein tutkimaan rakenteita enemmän. On laadittava tutkimusohjelma, johon kerätään tarvittavat tiedot rakenteesta. Näihin sisältyvät mitat, materiaalien lujuusominaisuudet ja betoniterästen sijainti ja dimensiot. Betonista otetaan koekappaleet, ja näistä saadaan tutkittua jäljellä oleva betonilujuus. (RIL 174-4 1988, 40.)

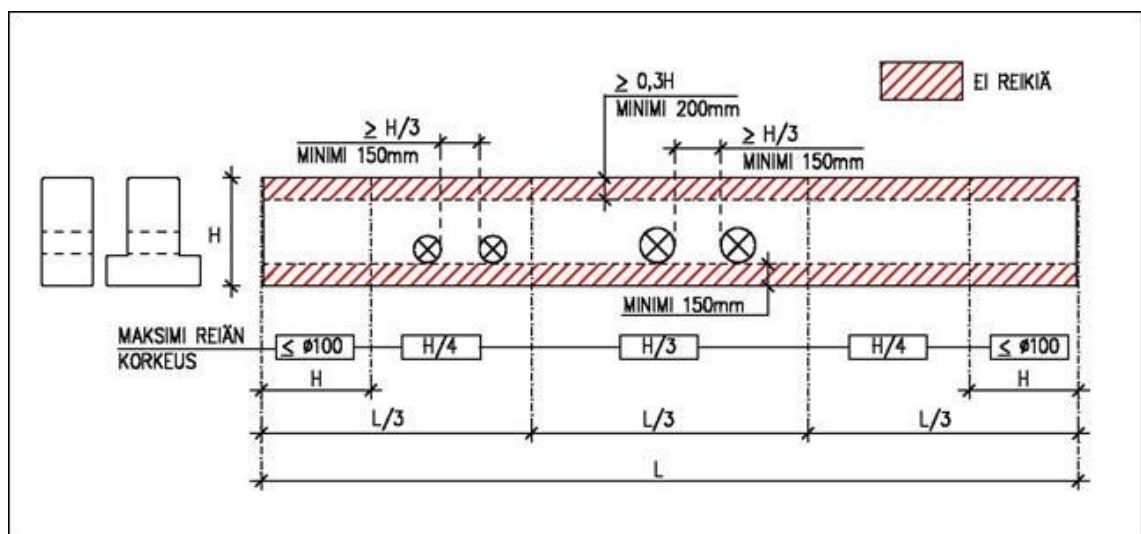
Rakenteiden kestävyyslaskennassa suunnittelijat haluaisivat usein laskea nykyisillä laskentamenetelmillä ja normeilla rakenteita ja kokonaisuuksia. Laskennassa tulee kuitenkin ottaa huomioon, että rakennukset on rakennettu sen aikaisilla menetelmillä ja materiaaleilla, joita on rakennusaikana ollut käytettävissä. Näin ollen tarkkuudet eivät ole samaa luokkaa, ja materiaalien laadussa on paljon suurempaa vaihtelua kuin nykyisin. Rakennetta tarkasteltaessa ja laskettaessa tulisi huomioida kokonaisuuden toiminta. Rakenteita mitoitettaessa kestävyyslaskennan suhteen, voidaan käyttää statiikan yleisiä käytäntöjä ja näin saada mahdollista lisäkapasiteettia käyttöön. Uudet rakenteet tulisi kuitenkin mitoitaa Eurokoodien mukaisesti, jos rakenteet toimivat itsenäisesti. Tämä koskee myös korjauskohteita, jos suunnitellaan uusiin rakenteisiin rinnastettavia vahvistusratkaisuja. (RIL K170-1995, 277.)

4.10 Koekuormitus

Rakenteiden kantokykyä voidaan selvittää myös koekuormittamalla vanhaa rakennetta. Tämä on usein käyttökelpoinen menetelmä, jos rakenne on toistuva.

Rakennetta ei tarvitse välttämättä rikkoa koekuormituksessa. On myös mahdollista kuormittaa rakenne murtoon asti, jolloin saadaan murtokestävyys rakenteelle selvitettyä. Jos rakenne on toistuva, voidaan yhden palkin tuloksista tehdä päätelmät muista samanlaisista palkeista. Näin yhden palkin uudelleen rakentamalla saadaan selville tarkasti rakenteen kapasiteetti. (RIL K170 1995, 278.)

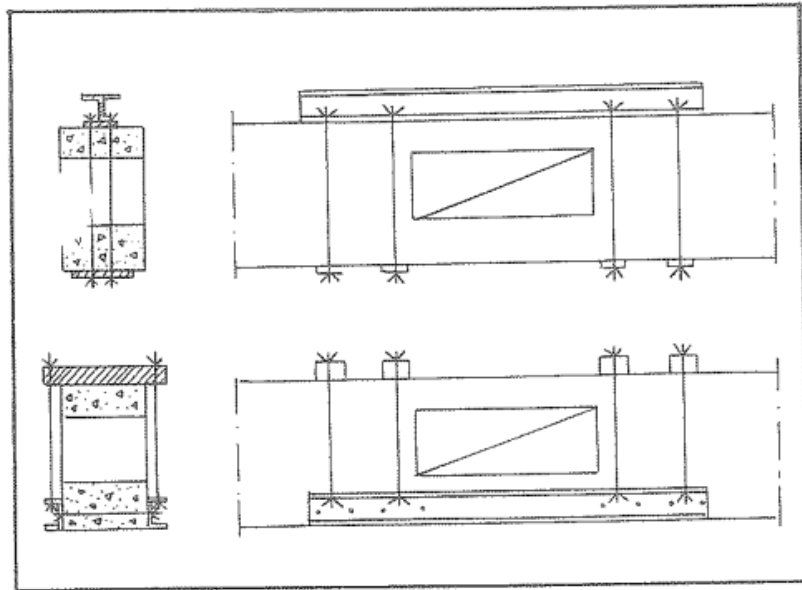
Teräsbetonipalkin lävistämistä tulisi välttää. Jos reikiä on välttämätön tehdä, tulisi niiden olla pyöreän mallisia ja sijaita ennemmin veto- kuin puristuspuolella. Näin ei menetetä palkin puristuskestävyyttä, ja vetokestävyys muuttuu vain marginaalisesti. Suositeltava paikka rei'ille on palkin jännevälin keskimmaisessä kolmanneksessa. Pituudeltaan suorakaiteen muotoisia reikiä käytetään poikkeustapauksissa. Näissäkin reunat tulisi pyöristää, jos mahdollista. Elementtisuunnittelu.fi esittää uusiin palkkeihin tehtäville rei'ityksille kuvan 8 mukaisia ohjeita. Näitä ohjeita voidaan pitää yleisellä tasolla myös vanhoille palkeille soveltuvina, mutta olemassa olevissa palkeissa tulisi aina tarkastaa rakenneosan kapasiteetti reikiä lisätessä. Uusia reikiä tehtäessä on varottava rikkomasta olemassa olevaa raudoitusta, ja teräksille tulisi jäädä riittävä betonipeite. (RIL 174-4 1988, 146; Kari 2018, 89–90.)



Kuva 8. Palkin reikäohjeistus (Elementtisuunnittelu.fi)

Leikkauskapasiteettiin reiät vaikuttavat aina. Tukien eikä pistemäisten kuormien läheisyyteen ei tulisi sijoittaa reikiä, koska näiden kohdalla leikkausvoimat ovat suurimmillaan. Murtorajatilassa vetopuolen betonia pidetään halkeilleessa tilassa olevana, jolloin tälle ei lasketa kestävyyttä. Leikkauskapasiteetti lasketaan reiän yläpuolelle jäävän osan leikkauskapasiteetin mukaan. (Kari 2018, 89–90.)

Palkkia on vahvistettava, jos reikiä on tehtävä siten, että ne heikentävät palkin kestävyyttä alle sallitun varmuusasteen. Voimien laskennassa voidaan käyttää ristikkoanalogiaa, jossa palkki koostuu vedetyistä ja puristetuista sauvoista. Vedetyt sauvat ovat raudoitteita ja puristetut betonia. Vahvistusosina voidaan käyttää esimerkiksi teräsprofileja tai komposiittilevyjä. Kuvassa 9 on esitetty mahdollisuuksia palkin vahvistamiseksi reikiä kohdalla. (Kari 2018, 90–91.)



Kuva 9. Palkin vahvistamisen vaihtoehtoja reiän kohdalta (RIL 174-4 1988, 148)

5 Teräsbetonipalkin vahvistamisen menetelmät

5.1 Vahvistusmenetelmän valinta

Suuri osa korjaushankkeista toteutetaan perinteisellä kaavalla. Rakennuttaja hankkii suunnitelmat suunnittelijoilta, ja urakkalaskentasuunnitelmien valmistumisen jälkeen rakennuttaja järjestää urakkakilpailun. Ongelmaksi voi muodostua se, että suunnitelmissa on paljon kehitettävää, eivätkä ne välttämättä ole tuotannollisessa mielessä parhaita mahdollisia. Suunnitelmien detaljisuunnittelulla parannetaan toteutettavuutta, mutta kustannuksiin niillä ei ole suurta vaikutusta. Oleellisempaa olisi miettiä käytettävää vahvistamismenetelmää. Esimerkiksi jos hitaat manttelointivahvistukset korvattaisiin teräsosin, voitaisiin ehkä säästää aikaa ja kustannuksia. (RIL K170 1995, 322.)

Suunniteltaessa vahvistamista tulisi suunnittelijan kerätä tietoa seuraavista tekijöistä (RIL K170 1995, 284.):

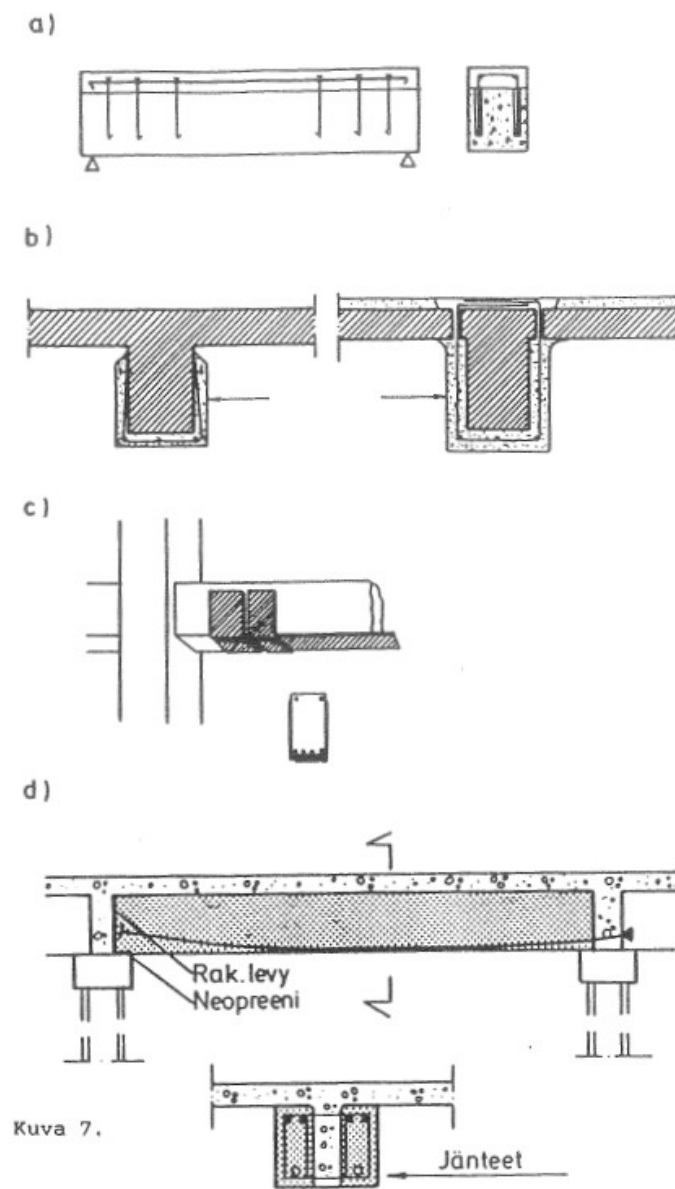
- vahvistamistarpeen syy
- vahvistettavan rakenteen kunto ja materiaaliominaisuudet
- vahvistettavan rakenteen kapasiteetti ja "toimintatapa"
- koko rakenteen staattinen malli
- vahvistustoimenpiteen vaikutus muihin rakenteisiin
- rakennuksen/rakenteen jäljellä oleva käyttöikä ja vahvistuksen vaikutus
- perustusten kunto

Saatujen tietojen pohjalta suunnittelijan tulisi pohtia useampia vaihtoehtoja kohteen korjaukselle. Näillä tiedoilla sekä laskelmin suunnittelija pystyy helpommin ratkaisemaan, mitä menetelmää tulisi käyttää kyseisessä kohteessa. Suunnittelijan tulisi myös aina pitää mahdollisena ratkaisuna sitä, ettei rakennetta vahvisteta. Vaihtoehtoisesti rakenne voidaan purkaa kokonaisuudessaan, ja tilalle rakennetaan uusi rakenne. Myös muita vaihtoehtoja on, esimerkiksi kuormien siirtäminen muille rakenneosille voi tulla kysymykseen. Menetelmän valinta tulisi huomioida kokonaiskustannukset ja toteuttamiskelpoisuus. Usein kohteen ominaisuudet sanelevat myös korjaustyötä. Vaikuttavia tekijöitä ovat (RIL K170 1995, 284.):

- käytettävissä oleva aika ja tila
- korjaustyön ajankohta
- muun toiminnan keskeytyminen
- vaadittava käyttöikä, kantavuus ja ulkonäkö
- palokuorma
- rakenteen käyttötarkoitus

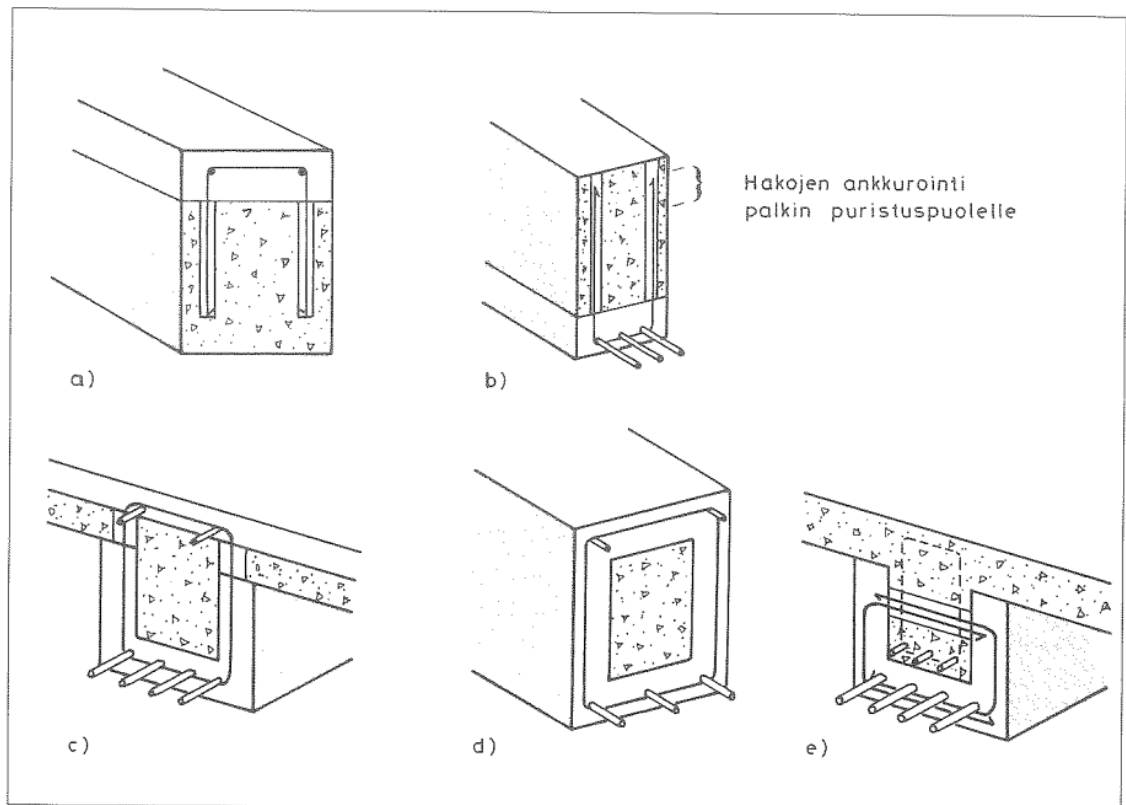
5.2 Betonimanttelointi

Betonimanttelointi tarkoittaa palkin ympärille tai joillekin sivuille valettavaa uutta betonikerrosta, jolloin palkin pinta-ala ja rakenteen kapasiteetti kasvavat. Betonia voidaan lisätä puristuspuolelle, jolloin palkin puristuskestävyys paranee. Palkin taivutuskestävyyttä voidaan parantaa lisäämällä vetoteräksiä uuteen rakenteseen vetopuolelle uuden betonivalun sisään. Leikkauskapasiteettia voidaan parantaa lisäämällä leikkausraudoitusta palkkiin tukialueen lähelle, missä leikkausrasitus on suurimmillaan. Uuden betonin sisään voidaan myös valaa jänteitä, jotka jännitetään ennen rakenteen valua. Näin saadaan palkista jännitetty rakenne ja taipumat jäävät pieniksi. Kuvassa 10 ja 11 on esitetty erilaisia vahvistustapoja betonipalkeille. (RIL K87 1987, 102.)



Kuva 7.

Kuva 10. Betonipalkin eri vahvistusmahdollisuuksia (RIL K87 1987, 103)



Kuva 11. Erilaisia vahvistustapoja mantteloinnilla (RIL 149-1995, 300)

Vahvistusmenetelmänä manttelointi on yksinkertainen niin suunnittelun, kuin työn toteutuksen osalta. Se ei usein tarvitse erikoislaitteita tai -tekniikoita. Kustannuksiltaan se on myös usein kohtuullisen edullinen korjausmenetelmä. Se kuitenkin kasvattaa betonirakenteen poikkileikkausta ja tarvitsee tilaa. Manttelointityössä on useita työvaiheita, kuten rauditus, muotitus, valutyö sekä muotin purkutyö. Myös palkin paino kasvaa alkuperäisestä merkittävästi. Sen vuoksi se ei sovellu käytettäväksi kaikkiin kohteisiin.

Usein tarvittavan suuremman taivutuskapasiteetin lisäys tehdään vetoteräsmäärän kasvattamisella. Jatkuvilla palkeilla kasvatetaan yleensä vain kenttäraudoitusta. Rauditusmäärien ollessa suuria täytyy tarkastaa myös tukialueiden kiertymäkapasiteetti. (K87 1987, 102.)

Vetorausituksen ankkurointi tulee huomioida. Sen on oltava riittävä, jotta uusi vetorausitus toimii halutulla tavalla. Jos rauditusmäärä on vähäinen, voidaan

yleensä ankkurointi hoitaa vanhan ja uuden betoni tartunnan avulla. Jos tarvittava vetoteräsmäärä on suuri, on käytettävä esimerkiksi teräsvaarnoja ankkurointi varmistamiseksi. (RIL K87 1987, 102.)

Mantteloinnin onnistumisen kannalta tärkeää on se, että mantteloitava rakenne on puhdistettu huolellisesti tartuntaa heikentävistä tekijöistä. Tällaisia ovat esimerkiksi pinnoitteet, irtonaiset ainekset, lika ja pöly. Mekaaninen tartunta on varmistettava. Pinta tulisi käsitellä siten, että vanhan palkin runkoaines olisi näkyvillä. Tämä voidaan tehdä hiekkapuhalluksella tai piikkaamalla. (RIL 174-4 1988, 107; By 41 2016, 29.)

Jälkihoito on erityisen tärkeää manttelointityön onnistumisen kannalta ja sitä tulisi jatkaa mahdollisimman pitkään, vähintään kuitenkin 14 vuorokauden ajan. Tärkeintä on välttää betonin liian nopea kuivuminen, joka synnyttäisi kutistushalkeamia. (RIL 149 1995.)

Betonimanttelointia suunniteltaessa laskelmissa tulee huomioida, ettei todellisuudessa uusi rakenne ole täysin monoliittinen, vaikka se olisi sellaiseksi suunniteltu. Palkin todellinen kapasiteetti tulisi rajata 80 % monoliittisen rakenteen kapasiteetista, jos lisätty betonin leikkauspinta-ala on alle kolmasosan alkuperäisestä pinta-alasta. Jos määrä on suurempi, tulisi kapasiteettiin laskea 65 % monoliittisestä kapasiteetista. Tämä vaatii kokonaisrakenteen, jossa tartunta on varmistettu rajapinnassa mekaanisesti esimerkiksi hakaraudoitteilla ja jonka voidaan ajatella toimivan monoliittisesti. (RIL K170 1995, 285–287.)

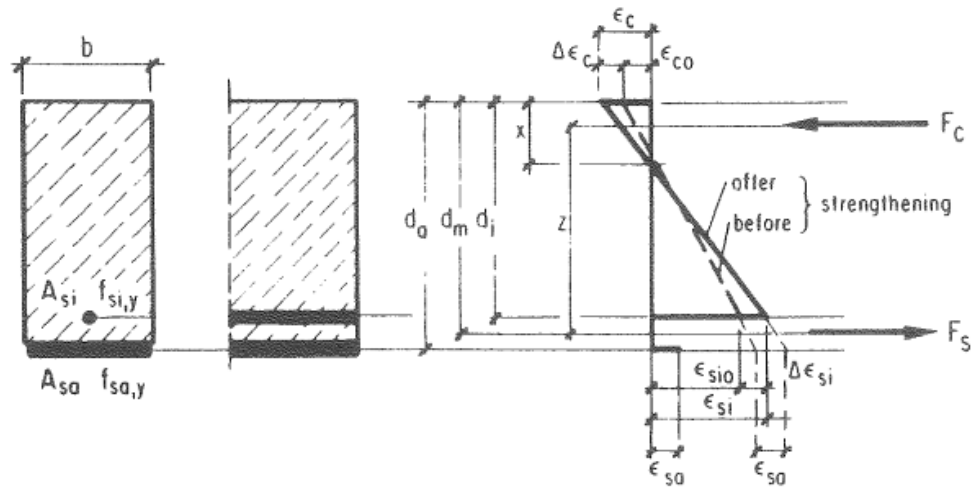
5.3 Teräsvahvistaminen

Terästä voidaan käyttää betonipalkkien vahvistamisessa usealla tavalla. Palkkia voidaan vahvistaa ottamalla kuormaa teräsprofiileille tai lisäämällä palkin alapintaan tai sivuille teräslevyjä. (RIL K170 1995, 292.)

5.3.1 Teräslevyllä vahvistaminen

Palkkia voidaan vahvistaa asentamalla betonin pintaan teräslevyjä. Levyjen paksuudet ovat usein 2 – 5 mm. Levyt kiinnitetään yleensä epoksiliimalla palkkiin. Levyjen hyvä puoli on se, että ne eivät tarvitse paljoa tilaa toisin kuin teräsprofiilit tai mantteloinnit. Niiden painonlisäys rakenteelle on pieni. Teräslevyillä voidaan

paikallisesti parantaa taivutus- tai leikkauskestävyyttä. (RIL K170 1995, 293–294.) Kuvassa 11 esitetään, miten liimattu teräslevy voidaan asentaa palkkiin taivutuskapasiteettia parantamaan.



Kuva 11. Teräslevyn vaikutus palkin voimasuureisiin (RIL K170 1995, 292)

Liimatun teräslevyn vaikutus palkin taivutuskapasiteettiin voidaan laskea mukaan kimmoteorian perusteella seuraavasti (RIL K170 1995, 292–293):

$$M_u = d_i * (f_{siy} * A_{si} + f_{say} A_{sa} * d_a / d_i) * (1 - (\rho_i + \rho_a) * k_2 / k_1)$$

missä

k_1 kuvaa betonin puristusjännityksen jakaantumista (murtotilassa ~ 0,8)

k_2 kuvaa betonin puristusresultantin etäisyyttä yläreunasta (murtotilassa ~ 0,4)

$$\rho_i = (f_{siy} * A_{si}) / (f_c * b * d_i) \quad (9)$$

$$\rho_a = (f_{say} * A_{sa}) / (f_c * b * d_i)$$

$f_{s,y}$ teräksen myötöjännitys
 f_c betonin puristuslujuus

Teräslevyn pinta-ala A_{sa} tulee olla suuruudelta sellainen, että olemassa oleva rauditus ei ylitä murtovenymää eikä haurasmurtoa tapahdu. Suositeltu vahvistuslevyjen jännitys ei tulisi ylittää teräsjännitystä (RIL K170 1995, 293):

$$f_{sl} = 0,7 f_{sl,y} \quad (10)$$

Ohjeissa suositellaan myös, ettei teräslevyn tuoma lisäkapasiteetti ylittäisi 75% alkuperäisestä kapasiteetista (RIL K170 1995, 293):

$$\Delta M_u = 0,25 \dots 0,75 M_{u0}$$

missä M_{u0} on kapasiteetti ennen vahvistusta ja ΔM_u on liimatun teräslevyn lisäys kapasiteettiin (11)

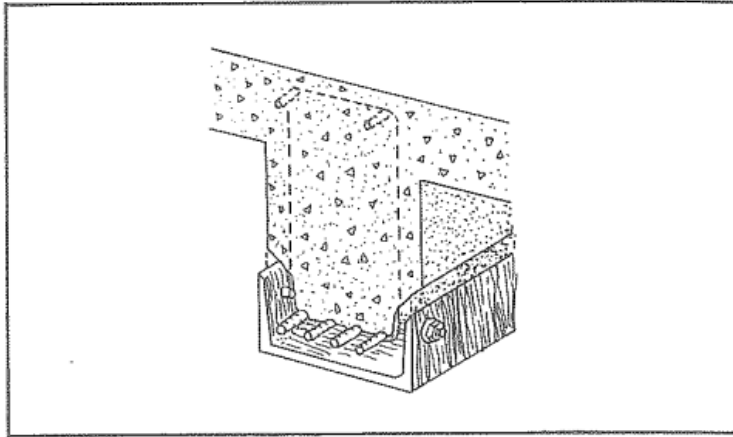
Liimauksen onnistuminen on oleellista levyvahvisteiden käytössä. Palkin ja liimauksen tartunta on varmistettava. Myös liiman kestävyys pitkällä aikavälillä tulee varmistaa. Palkin pinnan on oltava puhdas ja luja. Heikko pintakerros voidaan poistaa esimerkiksi hiekkapuhaltamalla. Teräslevy tulee valita siten, että se ei muuta palkin murtomekanismia hauraaksi. Tartunnan varmistamiseksi tulisi käyttää kiila-ankkureita. Teräslevyjä käytettäessä on huomioitava korroosion mahdollisuus, sekä teräslevyjen suojaus ympäristöä ja paloa vastaan. Levyt voidaan suojata esimerkiksi ruiskubetonoinnilla, sinkityksellä tai paloeristyksellä riippuen kohteen vaatimuksista. (RIL K87 1987, 105; RIL K170 1995, 293–294.)

Johtuen liiman suuresta lujuudesta, murto ei tapahdu yleensä liimasaumasta. Palkki murtuu usein raudoituksen tasosta, sillä lisättyjä vahvistuslevyjä ei ole ympäröity raudoituksella. Teräslevyjen tulisikin olla malliltaan pitkiä. Vaikka lyhyt mitta riittäisi liimauksen kannalta, pitkät levyt auttavat ehkäisemään edellä mainittua murtumistapaa. (RIL K170 1995, 293.)

5.3.2 Teräsprofiililla vahvistaminen

Teräsbetonipalkkia voidaan vahvistaa erilaisilla teräsprofiileilla. Teräsprofiileja voidaan tilanteen mukaan asentaa alkuperäisen palkin alapuolelle, sivuille tai yläpuolelle. Teräspalkki alkuperäisen palkin yläpuolella voi ottaa koko palkin kuormitukset ja siirtää ne suoraan pystyrakenteille. Teräspalkit voivat kantaa osan

kuormasta, tai kuormitukset kokonaisuudessaan. Kuormien siirtyminen tulee varmistaa esimerkiksi läpipulttauksilla. Usein teräspalkki voidaan esijännittää esimerkiksi kiilaamalla. Tämä vähentää palkin taipumaa kuormien siirrossa. Kuvassa 12 on havainnollistettu U-teräsprofiilin käyttöä teräsmäärän kasvattamiseksi. Palkin lävistävät pultit varmistavat yhteistoiminnan. (RIL 174-4 1988, 146.)



Kuva 12. Teräsprofiililla lisätty palkin vetorausoitumäärää (RIL 174-4 1988, 146)

Teräsprofiilien palosuojaus on huomioitava rakenteen vahvistuksessa. Yksinkertainen ratkaisu on suojata teräs palosuojalevyillä, jotka voivat toimia lopullisena pintana. Palosuojaus on tehtävä rakenteen ja palosuoja vaatimusten mukaisesti. (RIL 174-4 1988, 146.)

Teräsprofiileja voidaan myös käyttää lisätuen tekemisessä. Tuki voi olla painuva poikittainen palkki tai painumaton tuki eli teräspilari. Ongelmaksi muodostuu rakennemallin muuttuminen. Palkin momenttikäyrä voi vaihtaa merkkiä tuen kohdalla. Rakenteesta voi puuttua rauditus syntynyttä vetoa vastaan. Rakenteen leikkauskestävyys voi pienentyä tuen kohdalta, jos halkeilua syntyy. Tämä on otettava huomioon laskelmissa. (RIL 174-4 1988, 146–147.)

5.3.3 Vahvistaminen jännittämällä teräspunoksin

Jännittäminen on tehokas tapa vahvistaa rakennetta, jos rakenne korkeutta ei voida kasvattaa. Rakenteen kantavuus kasvaa ja rakenteen käyttäytyminen pa-

ranee vähentyneen halkeilun ja taipumien seurauksena. Haluttua vaikutusta voidaan säädellä jännevoimaa ja sijaintia säätelemällä. Jänneet sijoitetaan usein symmetrisesti palkin molemmiin puoliin. Jänneet voidaan sijoittaa rakenteen sisään, tai ulkopuolelle. Sisäpuoliset jänneet asetetaan suojaputkien sisään, ja jännitetään kun valettu uusi betoni on saavuttanut tavoitelujuuden. Putket injektoidaan umpeen jännittämisen jälkeen. Voidaan myös käyttää muovipinnoitetta terästen ympärillä, jolloin injektointia ei tarvita. (RIL K170 1995, 294.)

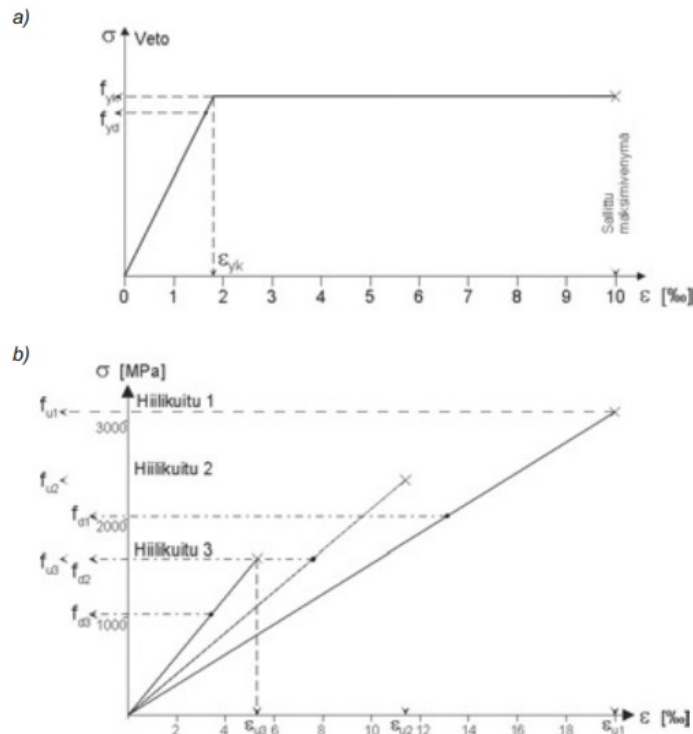
Ulkopuoliset jänneet eivät tarvitse betonivalua. Jänneet jännitetään vanhaan rakenteeseen kiinnitetyillä teräsosilla. Jänneet koostuvat teräspunoksista, ja niiden ympärillä on muovipäällyste. Tarvittaessa ulkopuolisetkin jänneet voidaan suojata injektoimalla ne suojaputkien sisälle tai ruiskubetonoimalla. Jänneet tarvitsevat ohjauskappaleita, jotta tarvittava jännitysvoima jatkuvassa palkissa saadaan nostettua tuen kohdalla yläpintaan. Rakenteen mitoituksessa huomioitava sisäisten ja ulkoisten jänneiden erot. Injektoitavat sisäiset jänneet ovat tartunnassa rakenteen kanssa. Ulkoiset jänneet eivät ole tartunnassa, jolloin ne toimivat ikään kuin vetotankoina. Näin ollen vetokapasiteetti on pienempi, kuin tartunnallisilla jänneillä. Vahvistamistapaa suunniteltaessa on huomioitava liittyvät rakenneosat. Jännitettävän palkin suunnittelussa on huomioitava palkin kiertyminen ja puristuminen, jolloin se aiheuttaa voimia ympäröiviin rakenneosiin. Liian jäykkä rakenne voi aiheuttaa sen, ettei jännevoima siirry vahvistettavalle palkille. Jännitettyjä rakenteita suunniteltaessa on huomioitava se, ettei betonin puristuskapasiteetti ylitä. Jännitystilän laskemiseksi palkki on mitoittettava liittorakenteena ja huomioitava erot betonien iässä. (RIL174-4 1988, 114; RIL K170 1995, 294)

5.4 Hiilikuituvahvistaminen

Hiilikuitua on käytetty vuodesta 1940 asti teollisuudessa. Hiilikuidun etuina on sen keveys suhteessa lujuteen. Se ei myöskään tarvitse juurikaan tilaa ja sillä on hyvä kestävyys. Hiilikuidusta voidaan tehdä hiilikuitukomposiittia lisäämällä siihen oikeita sidosaineita. Vahvistustoimenpiteet tehdään puhdistetulle betonipinnalle, jonka vetolujuus ylittää 1,5 MPa. Hiilikuitu liimataan rakenteen pintaan halutulle puolelle ominaisuuksiltaan sopivalla liimalla. (Liikennevirasto 2018.)

Hiilikuituvahvistamisella tarkoitetaan teräsbetonipalkkiin liimattavaa kuitumaisia nauhoja, levyjä tai kankaita. Nauhojen leveydet ovat usein 50 – 150 mm ja paksuudet 1,0 – 1,5 mm. Nauhoissa kuidut ovat yhdensuuntaisia, jolloin lujuusominaisuudet pätevät vain kuitujen suuntaisesti. Hiilikuitukankaissa kuidut voivat olla asetettu kahteen suuntaan. Hiilikuidun kimmomoduuliarvo on 150 000 – 300 000 N/mm², eli lähes samaa luokkaa kuin rakenneteräksellä (noin 210 000 N/mm²), mutta murtolujuus on huomattavasti suurempi, mahdollisesti 1000 – 3000 N/mm². Tavallisella rakenneteräksellä S235 (murtolujuus $f_u = 360 - 510$ N/mm²) tai S355 (murtolujuus $f_u = 510 - 680$ N/mm²). Murtovenymä riippuu käytettävästä hiilikuidusta. (Tiehallinto 2007, 16–17; Pellosniemi & Kalamies, 656.)

Materiaalina hiilikuitu eroaa teräksestä siinä, että sen jännitys-venymä -kuvaaja on lineaarinen murtolujuuteen saakka. Saavutettuaan myötörajan teräs taas venyy huomattavia määriä, ennen kuin se saavuttaa murtolujuuden. Hiilikuidun kapasiteetin ylittymistä ei voi hiilikuidusta etukäteen juuri havaita. Tästä syystä sitä voidaan pitää arvaamattomampana materiaalina kuin terästä. On siis erityisen tarkoin huomioitava kaikki rasitukset ja kuormat hiilikuitua käytettäessä. Rakennesuunnittelija määrittää esimerkiksi liimausalustalta vaaditun lujuuden. Kuvassa 13 on esitetty teräksen ja hiilikuidun jännitys-venymäkuvaajat. Hiilikuidusta on esitetty lujuudeltaan kolme eri versiota.



Kuva 13. a) betoniteräksen ja b) hiilikuidun jännitys-venymäkuvaajat (Tiehallinto 2007, 20)

Hiilikuituvahvistamista voidaan käyttää sekä vetorasitettujen- että leikkausrasitettujen rakenteiden korjaamiseen. Hiilikuitunauha liimataan yleensä epoksiliimalla kiinni rakenneosaan. Liimaus voidaan suorittaa vain toiselle pinnalle, tai vaihtoehtoisesti molemmille. Tulee huomioida, että jos käytettävän hiilikuidun kimmo-moduuli on huomattavasti teräksen kimmomodulia alhaisempi, rakenteeseen kehittyä suuria muodonmuutoksia ennen kuin rasitukset siirtyvät teräkseltä hiilikuidulle. (By 41 2016, 80.)

Hiilikuituvahvistamisen onnistumisen edellytyksenä voidaan pitää liimauksen onnistumista. Rakenteen on oltava puhdas, ja tartunnalle määriteltujen olosuhteiden on toteuduttava. Betonin vetolujuuden on oltava riittävä, ja tämä voidaan varmistaa esimerkiksi betonista otettavilla vetokokeilla. Rakennesuunnittelijan tehtävä on määrittää kiinnitykselle asetettavat ehdot. (By 41 2016, 80.)

Hiilikuituvahvistamisissa on otettava huomioon palomitoitus. Jos kantavia rakenteita vahvistetaan, hiilikuidulla vahvistuksen tulee täyttää rakenteelle asetetut palonkestovaatimukset onnettomuustilanteessa. Hiilikuituvahvistukset on siis tällöin

suojattava palolta, jos niiltä vaaditaan kantokykyä palotilanteessa. Itse hiilikuitu kestää suuria lämpötiloja, mutta liiman lämmönkesto on rajoittava tekijä. Valmistajilla on yleensä omia ohjeita tuotteen suojaamiseksi. (Murto 2018, 40–41.)

Hiilikuitu on kevyttä ja sillä on suuri vetolujuus painoonsa nähden. Materiaali on suhteellisen kallista, mutta asentaminen kohtalaisen yksinkertaista ja nopeaa. Myös tilasäästöä syntyy, sillä tilavuus on huomattavasti pienempi verrattuna teräsprofiilivahvisteiden tai mantteloinnin tarvitsemaan tilaan. Kuitenkin hiilikuituvahvistaminen vaatii erikoissuunnittelua, joten sitä ei lähtökohtaisesti yleensä käytetä, jos manttelointi tai teräsvahvistaminen on tilan puolesta mahdollista toteuttaa.

6 Suunnittelussa erityisesti huomioonotettavia asioita

6.1 Työmaa

Korjausrakentamisen suunnittelussa tulee aina huomioida rakentamisen toteutus. Suunnitteluratkaisuissa tulee aina myös miettiä, miten työnaikainen suoritus voidaan toteuttaa vaihe vaiheelta. Korjausrakentamishankkeilla on piirteitä, jotka erottavat ne uudisrakentamishankkeista. Työmaiden ahtaus on yleistä johtuen siitä, että hankkeet sijaitsevat tiiviisti rakennetulla alueella. Tästä syystä joudutaan materiaalien sijoittelua suunnittelemaan tarkoin etukäteen. Kohteet ovat usein käytössä rakentamisen ajan. Rakentajan on huomioitava rakennuksen normaali käyttö rakennustyön aikana ja erityisesti käyttäjien sekä muiden henkilöiden turvallisuus. (RIL K170 1995, 321.)

Purkutyöt on usein merkittävä työvaihe korjaushankkeessa. Purkujätteen siirto pois päin työmaalta kannattaa mahdollisuuksien mukaisesti ajoittaa ennen uuden materiaalin tuontia työmaalle. Näin tavaran liike on aina yhden suuntaista joko työmaalle päin tai sieltä pois. Tavaran pysty- ja vaakasiirrot ovat korjauskohteissa usein vaikeasti toteutettavissa. Korjausrakennustyömaalla joudutaan usein käyttämään uudisrakentamisesta poiketen muita nostovälineitä, kuin torni- tai autonostureita. Vanhat piirustukset ovat epätarkkoja ja niihin voi sisältyä suuriakin virheitä tai puutteita. Työmaan tulisi huomioida se, että yllätykset kuuluvat korjausrakentamiseen ja niiltä ei yleensä voi välttyä. (RIL K170 1995, 321.)

Työmenetelmät tulisi valita kohteen mukaisesti. Jo suunnitteluvaiheessa suunnittelijoiden tulisi käydä työmaan kanssa keskustelua haastavista työvaiheista ja niiden suorittamisen edellytyksistä. Tämä helpottaisi työmaan toimintaa. Rakenteen kantavuus asettaa omat ehtonsa työmenetelmille. Raskaat koneet saatetaan joutua korvaamaan käsikoneilla. Rakenteiden kestävyys voi myös vaikuttaa menetelmän valintaan. (RIL K170 1995, 321.)

Korjaushankkeen kokonaisvaltaisuus voi vaihdella todella paljon. On täysin eriasia, onko rakennukselle tehtävä esimerkiksi uudelleen pinnoitus vai onko kaikkia runko-osia lähdettävä vahvistamaan perustuksista lähtien. Rakennuskohteen korjausaste voi olla 20 % – 140 %. Kyseiset seikat koskevat sekä suunnittelutyötä että toteutusta. Haastavammissa kohteissa tarvitaan erikoisosaajia sekä –välineitä, jolloin kustannukset kasvavat huomattavasti. Myös erikoiset työmenetelmät ja materiaalivalinnat voivat kasvattaa kustannuksia. (RIL K170 1995, 321–322.)

Rakenteiden kuormitukset tulee johtaa korjausrakentamisessa koko projektin ajan turvallisesti maaperään. Jos kantavia rakenteita joudutaan purkamaan, tulee miettiä, miten kuormitusten siirtyminen hoidetaan. Ennen purkamista on selvitettävä kuormitukset ja tulee suunnitella sekä asentaa väliaikaistuennat. Työnaikaiset kannatukset tulisi suunnitella kantamaan samalla tavoin, kuin alkuperäisetkin tuet kantoivat. Kuorma voidaan siirtää esimerkiksi teräskiiloilla, jotka on muotoiltu haluttuun kulmaan. Kevyemmissä tuennoissa voidaan käyttää puuta. (RIL K170 1995, 281–282.)

6.2 Suunnitelmat

Korjaushankkeessa suunnitelmien pohjana toimii rakennuttajan esittämä tilaohjelma eli se, millaisia huonetiloja kohteeseen halutaan. Vanhat piirustukset tulee hankkia, jos niitä on saatavilla. Näitä voi löytyä kiinteistön omistajalta tai kyseessä olevan kunnan rakennusvalvonnan arkistosta. Piirustuksista saadaan selville rakentamistapa. Tämän avulla voidaan tehdä suunnitelmat kuntotutkimusta ja rakenteiden kartoitusta varten. Rakenteiden kartoitus luo pohjan koko rakennussuunnittelulle, joten se tulisi tehdä ammattitaitoisesti. Myös kaikista taloteknisistä järjestelmistä tulee laatia selvitykset. Huolellisella kartoituksella kustannukset py-

syvät paremmin hallinnassa ja työnaikana yllätyksiä tulee vähemmän. Jos piirustuksia ei ole saatavilla, tulee kohteessa tehdä vielä perusteellisemmat tutkimukset, analyysit ja mittaukset kantavista rakenteista, jotta rakenneosat tunnistetaan. Jos rakenteiden kuormitukset kasvavat, on myös viranomaiselle tehtävä selvitykset kantavuuksista laskelmin. (RIL 149 1995, 230–231.)

Edellä mainittujen tietojen pohjalta arkkitehti- sekä erikoissuunnittelijat laativat alustavat luonnoksensa. Esisuunnitelmien valmistuttua rakennuttaja laatii aikataulun suunnittelutyölle ja rakentamiselle. Aikataulussa tulisi huomioida purku- ja suojaustyöt, työmäärät, erilaiset vaiheistukset työssä ja näiden kustannusvaikutukset. Rakennussuunnitteluvaiheessa tuloksena on urakkalaskenta-asiakirjat. Suunnitelmat tulee olla hyväksytetty viranomaisilla. Tuloksena tulisi olla purku-, tuenta- ja muut erikoissuunnitelmat sekä työselitykset. Urakoitsijan on myös laadittava heille kuuluvat suunnitelmat, joita on näytetty jäljempänä kuvassa 14. (RIL 149 1995, 230–231.)

Työnaikana tehtävä suunnittelutyö voi muodostua merkittäväksi osaksi koko suunnittelutyötä. Tulevia korjauksia varten tulisi tehtävät muutokset dokumentoida huolellisesti ja kaikki muutokset kirjata ylös. Yleisohjeita tulisi välttää, rakenteet ja tehtävät työt tulisi kuvata yksityiskohtaisesti. Kuvassa 14 on esitetty korjaushankkeen aikana tuotettavia suunnitelmia. (RIL 149 1995, 230–231.)

1. ESISUUNNITTELUVAIHE

Tilaohjelma

- Luonnokset
- Vanhat piirustukset ja suunnitelma-asiakirjat
- Rakenteiden kuntoselvitys
- Mittaussuunnitelma ja mittaukset

2. RAKENNUSSUUNNITTELUVAIHE

- Aikataulu
- Arkkitehtipiirustukset
- Rakennepiirustukset
- LVIS-piirustukset

3. URAKKALASKENTAVAIHEEN SUUNNITELMAT

- Hyväksytyt arkkitehtipiirustukset
- Hyväksytyt erikoispiirustukset
- Työselitykset ja standardit
- Alustavat reikäpiirustukset
- Purku- ja tuentasuunnitelmat
- Tarvittavat erityistoimenpiteet (melu-, pöly-, ym. suojaukset)
- Rakennustyön vaiheistus
- Dokumentointiohjeet

4. TYÖNAIKAISET SUUNNITELMAT

Suunnittelijan laatimat:

- Täydentävät suunnitelmat ja detaljit
- Muutossuunnitelmat
- Lopulliset reikäpiirustukset
- Dokumentointi

Urakoitsijan laatimat:

- Aikataulut
- Purku- ja tuentasuunnitelmat
- Työmenetelmien edellyttämät suunnitelmat
- Urakoitsijan esittämät muutossuunnitelmat
- Dokumentointi

Kuva 14. Korjaushankkeessa eri vaiheissa tehtävät suunnitelmat (RIL 149 1995, 231)

Korjauskohteen suunnittelun tarkennuksia tulee usein tehdä korjaustöiden edetessä ja yllätyksiin sekä suunnitelmamuutoksiin tulee varautua. Suunnitelmissa tulee esittää useita asioita, esimerkiksi seuraavia (RIL K170 1995, 283.):

- vanhat rakenteet ja materiaalit
- purettavat rakenteet (purkusuunnitelma)

- korjauspintojen käsittely
- muotit ja telineet
- uudet rakenteet ja materiaalit
- työvaiheet
- yksityiskohtainen työjärjestys
- työn suoritukseen liittyvät ohjeet
- viimeistely ja jälkihoito

Vahvistamissuunnitelmassa tulisi olla ainakin vanhan rakenteen analyysi, tarkmittaukset, kuntoselvitykset ja vanhat rakennepiirustukset. Suunnitelmissa rakenne tulisi olla mahdollisimman tarkasti selvitetty ja vanhojen piirustusten oikeellisuus varmistettu. Kantavien rakenteiden kohdalta tiedot tulisi olla selvitettyinä ensimmäisenä. On laadittava työselitys, joka kattaa mahdollisimman tarkoin työn sisällön, menetelmät ja laatuvaatimukset. (RIL K170 1995, 283.)

Erityisen tärkeää on myös suunnitella rakennustyönaikana tarvittavat laitteet ja niiden aiheuttamat kuormitukset. Purkutyön aikana saatetaan tarvita suuriakin koneita siirtämään massaa pois rakennuksesta. Käytettävät laitteet on valittava rakenteen kestävyys- ja ehtoilla. (RIL 149 1995, 232–233.)

7 Suunnitteluohje

Työssä suunniteltiin yrityksen käyttöön palkkirakenteen vahvistamisen suunnitteluohje. Ohje on tarkoitettu korjausrakentamisen aloittaville rakennesuunnittelijoille, jotka ovat saaneet suunnittelutehtäviä palkkirakenteen liittyen palkkirakenteiden korjaukseen tai vahvistukseen. Suunnitteluohjetta ei julkaista, vaan se jää yrityksen käyttöön. Ohje sisältää tietoa korjaushankkeen kulusta. Siinä käsitellään asioita, joita rakennesuunnittelijan tulisi ottaa huomioon sekä mitä tehtäviä hänelle kuuluu. Erilaisista vahvistusmenetelmistä on tehty vertailua niiden hyvien ja huonojen puolien osalta. Ohjeeseen on myös koottu lähdejulkaisuja, joista voi tarvittaessa etsiä lisätietoa aiheesta.

8 Vahvistamisen laskentapohja

Opinnäytetyössä valmistui laskentapohja tilaajayrityksen käyttöön, jolla voidaan arvioida ja laskea yksiaukkoisen teräsbetonipalkin uusi kapasiteetti manttelilla vahvistettuna. Laskenta-alustalla voidaan mitoittaa vahvistus siten, että valettava manttelointi kantaa kaikki kuormat. Laskenta seuraa Eurokoodin EN 1992-1-1 mukaista mitoitus- ja uudelle palkille, koska manttelointirakenne toimii itsenäisesti uutena rakenteena kantaen kaikki kuormat.

Toiveena yrityksen puolelta oli myös laskentapohja, joka laskisi toiminnan vanhan ja uuden betonipalkin liittorakenteelle. Analyysimielessä tämä osoittautui liian haastavaksi tehtäväksi, joten tästä ei saatu luotua tarpeeksi kattavaa laskentapohjaa. Vanhan ja uuden betonin erilainen kutistumisnopeus, puristuskestävyyden-, ja kimmomodulin arvot, tartunnan toteutus ja mitoitus, sekä erilaiset poikkeileikkausvaihtoehdot vaativat kohtuuttoman paljon analyysityötä. Liittorakenteena laskennassa tulisi myös huomioida alkuperäisen palkin rakennusaikaiset normit ja säädökset sekä kertoimet. Liittorakennetoiminnan laskentapohjan suunnittelu voisikin toimia jatkokehityksenä tälle opinnäytetyölle.

Työssä valmistuneen laskenta-alustan tuloksissa on tehty joitakin oletuksia rakenteelle. Laskenta-alustan tulosten oikeellisuus on siis tarkastettava aina toisellakin laskentatavalla, jotta voidaan varmistua tulosten oikeellisuudesta. Laskenta etenee siten, että täyttösivulle annetaan olemassa olevan palkin tiedot. Seuraavaksi määritetään haluttu mantteloinnin muoto. Muotovaihtoehtoja on palkin vahvistuksen tekeminen joko alkuperäisen palkin yhdelle sivulle, alle, molemmille sivuille, tai sivuille ja alle. Laskentaa varten syötetään manttelointia koskevat tiedot ja arvot. Täyttösivulle annetaan vielä kuormitukset joko kokonaisarvona tai metrikuormana.

Laskenta-alustan laskentaosassa täyttösivulla syötettyjen arvojen avulla lasketaan taivutus-, leikkaus- ja ankkurointikestävyydet eurokoodin EN 1992-1-1 mukaisesti. Laskennassa hyödynnetään myös betonirakenteiden suunnittelun oppikirjaa (by211 2013.) ja betoniteollisuuden ohjetta (Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan Osa 4: Palkit).

Tilanteessa, jossa mantteloinnit ovat molemmin puolin alkuperäistä palkkia tulee huomioida, että vanhan palkin ja mantteloinnin yhteistoiminta tulee varmistaa. Tämä vaatii kappaleelta monoliittista toimintaa sekä sitä, että molemmat manttelin osat kuormittuisivat yhtä paljon. Vaaditaan siis mekaaninen läpirauditus alkuperäisen palkin läpi ja rauditus tulisi mitoittaa erikseen. Tämän vuoksi palkin käyttöaste tulisikin rajata alla olevan taulukon 1 korjauskertoimien mukaan 80 %:iin, jos lisätyn betonimäärän poikkileikkauksen pinta-ala alle kolmasosa verrattuna alkuperäiseen, tai 65 %:iin, jos lisätty betonimäärä on tätä suurempi.

Laskelmia tehtäessä oletetaan yleensä vanhan ja uuden materiaalin yhteistoiminnan olevan jonkin verran epätäydellinen. Esim. betonirakenteiden osalta voidaan kapasiteettien korjauskertoimina taulukon 1/1/arvoja.

		$ \Delta A_c < 1/3 A_c$	$ \Delta A_c > 1/3 A_c$	RUISKUBETONI
PALKIT	$M_{u,r}/M_{u,m}$	0,8	0,65	0,8
LAATAT	$M_{u,r}/M_{u,m}$	1,0		
	$V_{u,r}/V_{u,m}$	0,8	—	0,8
PALKIT	K_r/K_m	0,65	0,40	0,65
LAATAT	K_r/K_m	0,9		0,9

missä

$M_{u,r}$ = todellinen taivutuskapasiteetti

$M_{u,m}$ = monoliittisen rakenteen taivutuskapasiteetti

V_u = leikkauskapasiteetti

K = taivutusjäykkyys (EI)

Liimatuilla teräslevyillä vahvistetun palkin $M_{u,r}/M_{u,m} = 1,0$ silloin, kun ehto $\Delta M_u < 0,5 \times M_{u,exist.}$ on voimassa.

Taulukko 1. Korjauskertoimia vahvistetuille rakenteille (RIL K170-1995, 286)

Taivutuskestävyyden laskennassa lasketaan suhteellinen momentti:

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{bd^2 \eta f_{cd}} \quad (12)$$

μ = Suhteellinen momentti

M_{Ed} = Mitoitus momentti taivutukselle

b = mantteloinnin leveys (osien summa)

d = tehollinen korkeus (manttelointi)

η = puristusvyöhykkeen parametri

f_{cd} = betonin laskentalujuus

Puristusvyöhykkeen suhteellinen korkeus β lasketaan kaavasta:

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2\mu} \quad (13)$$

Mekaaninen raudoitussuhde ω saadaan kaavasta:

$$\omega = \beta \quad (14)$$

Vaadittu raudoitusala lasketaan:

$$A_{s,vaad} = \omega b d \frac{\eta f_{cd}}{f_{yd}} \quad (15)$$

$A_{s,vaad}$ = Vaadittu teräsmäärä

d = tehollinen korkeus (manttelointi)

f_{yd} = raudoituksen myötölujuuden laskenta-arvo

Raudoitus valitaan siten, että valittu raudoitus on suurempi kuin vaadittu raudoitus. Suositeltavaa on, että edellä mainituista syistä käyttöaste rajattaisiin taulukon

1 mukaan, koska vanhoihin rakenteisiin ja kuorman siirtymiseen tulee suhtautua varauksella. Hiukan suurempi kapasiteetti ei kasvata mantteloinnin kustannuksia merkittävästi. Vaikkakin toisaalta kyseisessä tapauksessa manttelointi kantaa kaikki kuormat, jolloin se voitaisiin teoriassa rinnastaa uuteen rakenteeseen. Tällöin mitoituksessa voitaisiin käyttää eurokoodien mukaista mitoitusta ilman yhteistoiminnan suositeltavia korjauskertoimia.

Leikkauskestävyyden laskenta noudattaa seuraavaa kaavaa, kun leikkausvoiman suunnitteluarvo V_{Ed} on tiedossa. Ensin lasketaan leikkausjännitys v_{Ed} :

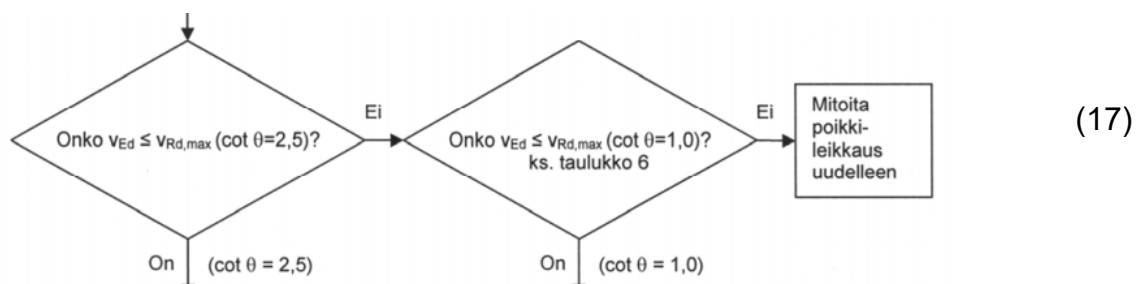
$$[v_{Ed} = V_{Ed}/(b_w z) = V_{Ed}/(0,9 b_w d)] \quad (16)$$

b_w = mantteloinnin leveys (manttelin osien leveyksien summa)

z = sisäinen momenttivarsi

d = tehollinen korkeus

Jännitystä verrataan puristussauvan kestävyys taulukkoarvoihin:



$\cot \theta$ = puristussauvojen kaltevuus

Lasketaan pystysuoran leikkausraudoituksen pinta-ala:

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{v_{Ed} b_w}{f_{ywd} \cot \theta} \quad (18)$$

A_{sw} = Leikkausraudoituksen pinta-ala

s = tarkastelupituus

f_{ywd} = leikkausraudoituksen laskentalujuus

Pystysuoran leikkausraudoituksen minimipinta-ala tarkastetaan palkin pituusyksikköä kohden:

$$\frac{A_{sw, \min}}{s} = b_w \frac{0,08\sqrt{f_{ck}}}{f_{ywk}} \text{ sekä jakoväli: } s_{l, \max} = 0,75 d \quad (19)$$

f_{ck} = betonin puristuslujuuden ominaisarvo

f_{ywk} = raudoituksen myötölujuuden ominaisarvo

$s_{l, \max}$ = maksimihakaväli

Ankkurointimitoitus suoritetaan laskennassa seuraavasti. Ensin lasketaan tuelle ankkuroitava voima alla olevan kaavan mukaan:

$$F_{Ed} = V_{Ed} \frac{a_L}{z} = 0,5 V_{Ed} (\cot \theta - \cot \alpha) \quad (20)$$

F_{Ed} = Lisävetovoima pääteräksiin

V_{Ed} = Leikkausvoiman laskentaarvo

α = raudoituksen kulma

Lasketaan raudoituksen jännitys σ_{sd} :

$$\sigma_{sd} = \frac{F_{Ed}}{A_s} \quad (21)$$

A_s = Ankkuroitavan raudoituksen pinta-ala

Lasketaan ankkurointipituuden perusarvo $l_{b,rqd}$:

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} \quad (22)$$

ϕ = Pääterästen halkaisija

f_{bd} = tartuntalujuuden mitoitusarvo harjatangolle

Lasketaan ankkurointipituuden mitoitusarvo l_{bd} :

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{b,rqd} \quad (23)$$

α (1,2,3,4,5) = ankkurointipituuden pienennyskertoimien arvot

Tarkastetaan ankkurointipituuden vähimmäisarvo $l_{b,min}$:

$$l_{bd} \geq l_{b,min} \quad (24)$$

Määritetään toteutuva ankkurointipituus l_b :

$$l_b = L_T - c_{nom} \quad (25)$$

L_T = tukileveys

c_{nom} = betonipeitteen ominaispaksuus

Tarkastetaan mitoitusyhtälöllä, että ankkurointipituus on riittävä:

$$l_b \geq l_{bd} \quad (26)$$

9 Laskentapohjalla vertailu manttelin materiaaleista

Laskentapohjalla tehtiin vertailu siitä, miten eri betonilujuudet ja teräslaadut vaikuttavat tarkastelussa olleen palkin kestävyyskykyyn. Mantteloinnin kestävyyskykyä tarkasteltiin ainoastaan taivutuksen ja leikkauksen suhteen. Manttelointi oli muodoltaan palkin sivuilla ja alla, kuvan 16 mukaisesti. Vertailussa käytettiin seuraavia tietoja:

Alkuperäinen palkki:

Pituus 5000 mm

Leveys 280 mm

Korkeus 480 mm

Mantteli:

Leveys b : 100 mm

Korkeus h : 150 mm

Pääteräkset alapinnassa 2T16

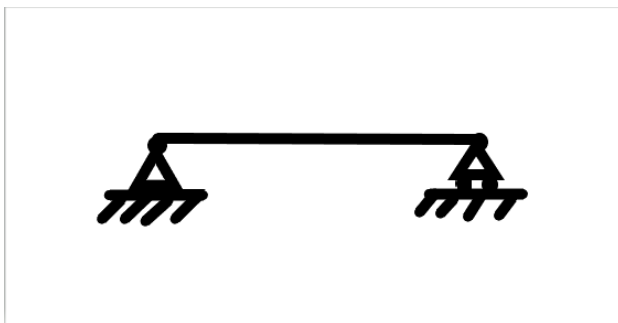
Haat T8 K150

Kuormat:

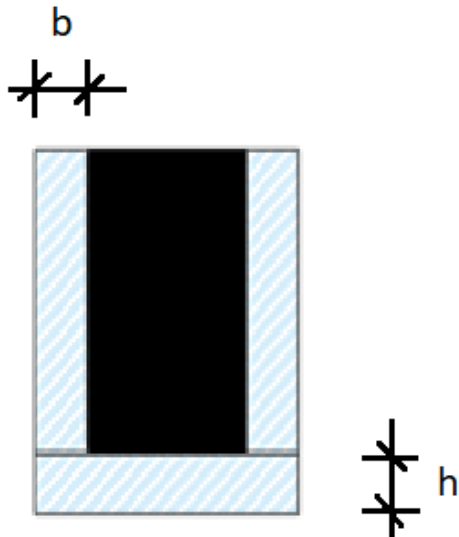
M_{Ed} 80 kNm

V_{Ed} 150 kNm

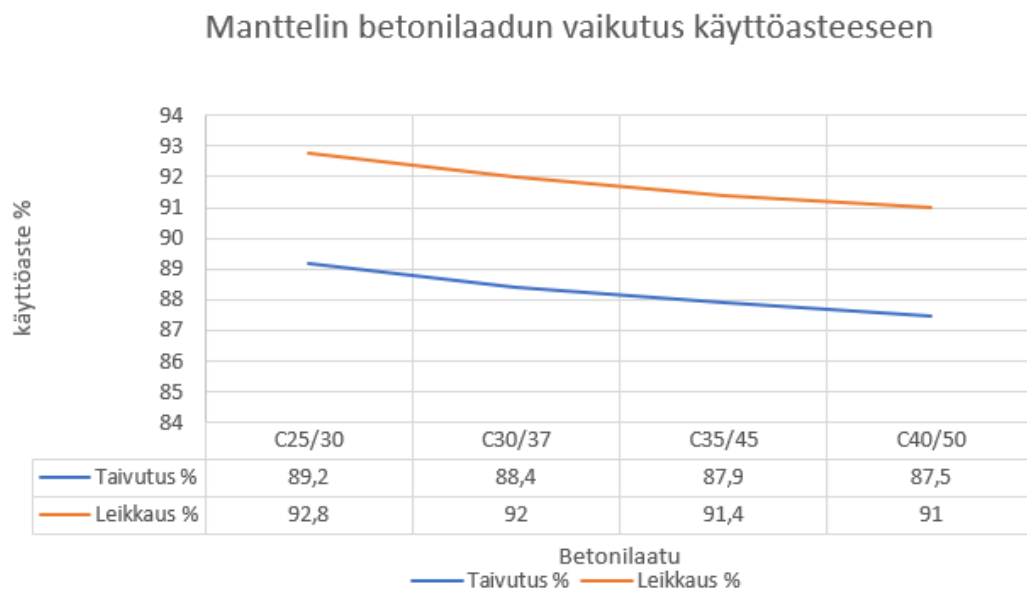
Betonivertailussa käytettiin teräslaatua B500B, joka on yleisesti käytetty betoni-teräs. Teräsvetäilussa käytetty betonilaatu oli myös hyvin usein käytetty C30/37. Leikkausraudoituksen laskennassa käytettiin puristussauvan kaltevuutta $\cot \theta = 1,0$. Alla kuvat 15 ja 16 palkin rakennemallista ja mantteloinnin mittojen määrittämisestä.



Kuva 15. Palkin rakennemalli.

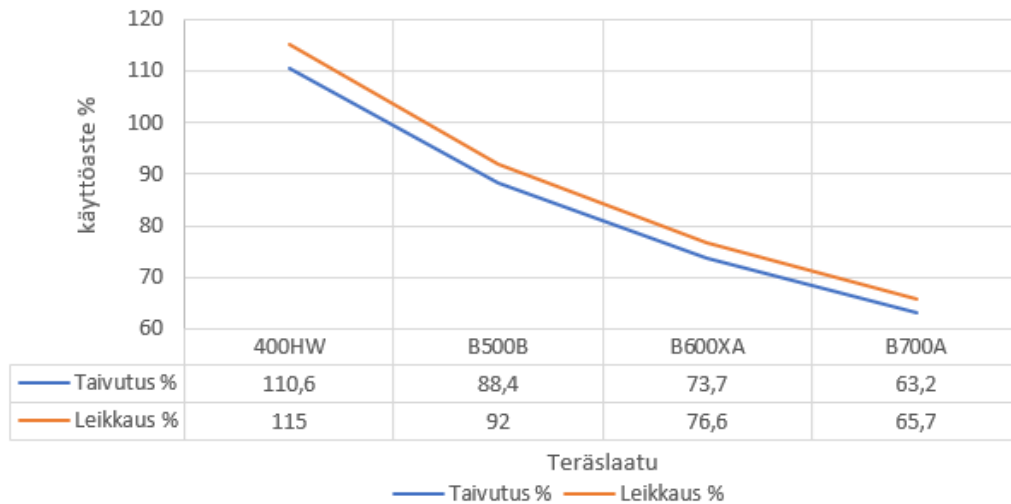


Kuva 16. Manttelin mitat.



Taulukko 2. Erilaisten betonilaatujen vaikutus tarkasteltuun palkkiin

Manttelin teräslaadun vaikutus käyttöasteeseen



Taulukko 3. Erilaisten teräslaatuojen vaikutus tarkasteltuun palkkiin

Vertailun tuloksena huomattiin, että betonilaadulla ei juurikaan ollut merkitystä kyseisen manttelin kestävyysasteeseen, käyttöaste laski vain hieman, kun käytettiin lujuempia betonilaatuja. Pienimmän lujuuden omaavalla C25/30 betonilla käyttöaste oli taivutuksen suhteen 89,2 % ja leikkauksen suhteen 92,8 %. Vahvimalla C40/50 betonilla samat arvot olivat 87,5 % ja 91 %. Eroa oli siis molemmissa noin 2 %. Betonilaadulla on kuitenkin merkitystä myös muihin asioihin, jota vertailusta ei selviä. Esimerkiksi käytettävä minimilujuus betonilaadulle riippuu rasiitusluokasta. Vertailu ei huomioi käyttöaikana tapahtuvia taipumaa, kutistumista tai viirumaa, johon betonilaatu vaikuttaa. Palkin kustannusten kannalta olisi kuitenkin edullisempaa käyttää pienemmän lujuusluokan betonia kyseisessä palkissa. Rakennet betonille on kuitenkin myös minimilujuusluokat, joita ei tule alittaa. Ympäristörasitusluokka asettaa myös minimilujuuden betonille. Myöskään alkuperäisen palkin betonilujuutta ei tulisi vahvistuksia suunniteltaessa alittaa.

Vertailusta huomattiin, että mantteloinnissa käytetyllä raudoituksella taas on suora yhteys kyseisen palkin kestävyysasteeseen. Vertailun pienimmän, jo vanhan lujuusluokan 400HW teräksen mantteloinnin käyttöaste olisi noussut taivutuksen suhteen 110,6 % ja leikkauksen suhteen 115 % eli kestävyys ei olisi riittävä kyseisillä kuormilla. B500B -teräs olisi jo toiminut lujuuden perusteella, käyttöas-

teilla taivutus 88,4 % ja leikkaus 92 %. Ruostumattomalla teräksellä B600XA kestävyys olisi ollut taivutukselle 73,7% ja leikkaukselle 76,6%. Kallein ja suurimman lujuuden omaava teräs B700A olisi antanut käyttöasteet taivutus 63,2 % ja leikkaus 65,7 %. Teräslujuus siis vaikutti suoraan mantteloinnin kestävyysarvoihin tarkastellussa tilanteessa. Tulee kuitenkin muistaa, että useimmiten käytetään teräslaatua B500B sen edullisuuden vuoksi. B600XA on jo hinnaltaan moninkertainen verrattuna B500B teräkseen. Tulee myös muistaa, että muutkin tekijät vaikuttavat mantteloinnin kestävyysarvoihin. Jos manttelin korkeus olisi matalampi, tulisi mitoittavaksi tekijäksi mahdollisesti betonin puristuskestävyys tai taipuma. Puristuskestävyyden ollessa mitoittava tekijä, vaikuttaa betonilaadun lujuus suoraan palkin kestävyysarvoihin. Oleellista on myös manttelin sidonta alkuperäiseen palkkiin. Vaikka lujuutta ei mantteloinnin mitoituksessa laskettaisikaan vanhalle palkille, on manttelointi sidottava mekaanisin tartunnoin, eli terästartunnoin vanhaan palkkiin.

10 Yhteenveto ja pohdinta

Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin korjausrakentamiseen ja erityisesti runkorakenteena toimivaan palkkirakenteeseen. Opinnäytetyön tavoitteena oli tutustua kirjallisuuslähteisiin ja korjausrakentamiseen myös yleisemmällä tasolla. Tuloksena oli tarkoitus tuottaa ohjeistus aloitteleville suunnittelijoille helpottamaan työn aloitusta. Toinen työn tavoite oli saada tuotettua laskentapohja, jolla voitaisiin arvioida mantteloinnin tuomaa kapasiteettia vahvistuksessa. Laskentapohjia oli tarkoitus tehdä kaksi. Ensimmäinen laskentapohja laskisi uuden mantteloinnin kantokyvyn uusille kuormille. Toinen laskentapohja taas huomioisi olemassa olevan palkin kapasiteetin liittorakenteena uuden manttelin kanssa. Muihin työn tavoitteisiin päästiin, mutta liittorakenteen laskentapohja tuotti liikaa analyysityötä ja se jätettiin pois lopullisesta työstä. Tämän vuoksi opinnäytetyön kehityskohteeksi voitaisiin mainita liittorakenteen huomioivan laskentapohjan teko.

Tiedonhankinta aiheesta oli haastavaa. Vaikka aiheesta oli tarjolla paljon tietoa, se oli hajallaan useassa eri lähteessä. Korjausrakentamisessa kohteet ovat aina yksilöitä, ja niihin perehtyminen sekä kantavien rakenteiden kartoitus on aina työ-

lästä. Jos vahvistamistyöhön on tarvetta ryhtyä, tulisi pystyä vertailemaan vahvistusvaihtoehtoja mahdollisimman kattavasti, jotta voidaan valita juuri kyseiseen kohteeseen soveltuva vahvistusmenetelmä.

Aiheena korjausrakentaminen on laaja, minkä vuoksi työssä keskityttiin tutki-
maan erityisesti palkkirakenteen vahvistamista. Tästäkin olisi löytynyt tutkittavaa
paljon ja työtä jouduttiin rajaamaan. Jatkotutkimuksena voitaisiin perehtyä enem-
män palomitoituksen vaikutuksiin palkkien korjauksen suunnittelussa. Myös
mantteloinnin vanhaan palkkiin liittävää mekaanista tartuntaa voitaisiin analy-
soida ja tästä voitaisiin tehdä mitoituspohja. Laskentaa voitaisiin tutkia lisää myös
hiilikuidun ja teräsosien vahvistuksen kannalta.

Opinnäytetyön tekemisen ja tiedonhankinnan seurauksena kertyi paljon tietoa
korjausrakentamisesta. Tätä tietoa uskoisin voitavan hyödyntää jatkossa tule-
vissa korjausrakennushankkeissa. Korjausrakentamisen määrän kasvaessa aihe
muuttuu jatkuvasti ajankohtaisemmaksi ja aiheeseen liittyvä tiedontarve kasvaa.

Lähteet

Anttila, V. & Vuorinen, P. Itsetiivistyvä betoni. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK050402.pdf>. Luettu 2.9.2020.

Arike, R. 2017. Yhteen suuntaan kantavien teräsbetonisten tasorakenteiden analysointi- ja vahvistusmahdollisuudet korjaushankkeessa. https://aalto-doc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/26691/master_Arike_Riku_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Luettu 2.9.2020.

Betoniteollisuus ry. a. Betonin valmistus. <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/betonin-valmistus/>. Luettu 31.8.2020.

Betoniteollisuus ry. b. Betonin ominaisuudet ja käyttö. <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/betonin-ominaisuudet-ja-kaytto/>. Luettu 31.8.2020.

Betoniteollisuus ry. c. Betonin vaurioituminen. <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/ominaisuudet-ja-edut/betonin-vaurioituminen/>. Luettu 30.8.2020.

BY 41. Betonirakenteiden korjausohjeet. 2016. Suomen betoniyhdistys ry. Helsinki: BY-koulutus Oy.

BY 211. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja. 2013. Suomen betoniyhdistys ry. Helsinki: BY-koulutus Oy.

Elementtisuunnittelu.fi. Betonipalkkien rei'itysohjeet. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/palkit/betonipalkkien-reiitysohjeet>. Luettu 10.9.2020.

Kari, V. 2018. Teräsbetonisten runkorakenteiden kantavuuden selvittäminen ja vahvistaminen. <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/26373/Kari.pdf?sequence=4&isAllowed=y>. Luettu 10.9.2020.

Komonen, J. 2010. Betonirakenteiden kutistumien ja halkeamien estäminen. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK100402.pdf>. Luettu 2.9.2020.

Liikennevirasto 2011. Betonisiltojen korjausohje. https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2011-17_betonisiltojen_korjaussuunnitteluohje_web.pdf. Luettu 1.9.2020.

Liikennevirasto 2016. Siltojen korjaus. Yleiset laatuvaatimukset. Halkeamien korjaaminen. <https://julkaisut.vayla.fi/sillat/silko/kansio1/s1233.pdf>. Luettu 2.9.2020.

Liikennevirasto 2018. Betonirakenteiden korjaaminen ja rakennusfysiikka. http://www.betoniyhdistys.fi/media/kurssimateriaalia/bkrf-2018/11_06-betonisiltojen-korjausten-erikoismenetelmat.pdf. Luettu 3.9.2020.

Murto 2018. Hiilikuituvahventaminen betonirakenteiden korjaussuunnittelussa. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/154738/Murto_Johan.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Luettu 3.9.2020.

Pellosniemi, J. & Kalamies, U. Teräsrakennetuotteet ja suositeltavat teräslajit. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK010406.pdf>. Luettu 1.8.2020.

RIL 149-1995. Betonityöohjeet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinööriliitto RIL ry.

RIL 174-1. 1988. Korjausrakentaminen I. Yleiset perusteet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinööriliitto RIL ry.

RIL 174-4. 1988. Korjausrakentaminen IV. Runkorakenteet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinööriliitto RIL ry.

RIL K87-1987. Runkorakenteiden saneeraus.

RIL K170-1995. Korjausrakentaminen IV. Kattorakenteiden korjaus. Runkorakenteiden korjaus ja vahvistaminen.

Sitowise 2020. <https://www.sitowise.com/fi/sitowise/yritys>. Luettu 8.9.2020.

Tiehallinto 2007. Betonirakenteiden liimausvahventamisohjeet. https://julkaisut.vayla.fi/sillat/julkaisut/bet_liimaus.pdf. Luettu 3.9.2020.