

Petri Tanninen


Betonikomposiittilaatan testaus

Opinnäytetyö
Materiaalitekniikan koulutusohjelma


Toukokuu 2015



KUVAILULEHTI

	Opinnäytetyön päivämäärä 22.1.2015 - 8.5.2015
Tekijä(t) Petri Tanninen	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Materiaalitekniikan koulutusohjelma
Nimeke Betonikomposiittilaatan testaus	
Tiivistelmä Opinnäytetyö käsittelee betonikomposiittipihalaattaan liittyvää standardisointia sekä laatan rakenteellisia ominaisuuksia. Työn aiheen sain Mikkelin ammattikorkeakoulun kautta. Työn toimeksiantajana toimii Hirel Oy, joka toimii kauppa- ja erikoisbetonialalla. Betonikomposiittipihalaatta koostuu polypropeenikuidulla lujitetusta S-100 -betonista sekä UPM-Profi -komposiittilaudasta, joka toimii pintamateriaalina rakenteessa. Työn tavoitteena oli selvittää aiheeseen liittyvät standardit sekä saada tietoa kehitetyn pihalaatan rakenteellisista ominaisuuksista ja säänkestosta. Työssä selvitettiin betonipäällystelaattoja koskevat standardit ja niiden pohjalta suunniteltiin testaukset, joilla saatiin selville halutut rakenteelliset ominaisuudet ja säänkesto. Päällystelaattaa testattiin mukaillen betonipäällystelaattoja käsittelevää standardia SFS-EN 1339, ominaistaivutuslujuuden ja olosuhdetestauksen osalta. Lisäksi kuitubetonin puristuslujuus testattiin mukaillen standardia SFS-EN 12390-3. Työssä selvitettiin aiheeseen liittyvät standardit sekä minkälaisia ominaisuuksia betonipäällystelaatalta vaaditaan Suomessa. Kehitetyistä laatasta saatiin testauksien tuloksena tietoon laatan ominaistaivutuslujuus, kuitubetonin puristuslujuus, olosuhdetestauksen aiheuttama massahävikki sekä komposiittilaudan ja betonin kiinnittyminen.	
Asiasanat (avainsanat) Betonikomposiitti, standardi, kuitulujuus, pihalaatta, PP	
Sivumäärä 32+6	Kieli Suomi
Huomautus (huomautukset liitteistä)	
Ohjaavan opettajan nimi Aapo Nysten	Opinnäytetyön toimeksiantaja Hirel Oy

DESCRIPTION

	Date of the bachelor's thesis 22.1.2015-8.5.2015
Author(s) Petri Tanninen	Degree programme and option Material engineering
Name of the bachelor's thesis Testing concrete composite paving flag	
Abstract Subject of this thesis deals with the standardisation and structural features of the concrete composite paving flags. Subject of this thesis was given by Mikkeli university of applied sciences. Assignment was received from Hirel Oy company. Hirel Oy operates in the field of special concretes- and trade sector. Concrete composite paving flag consist of polypropylene reinforced S- 100 concrete and UPM-Profi-Deck composite board, which works as a surface material. The main targets of this thesis were to find out the standards on the subject and get information of structural features and durability of weather from the developed paving flag. In this thesis were explored the standards considering concrete paving flags and based on standards were the tests planed to the flag. Paving flag were tested very similarly as in SFS-EN 1339 standard, in section of flexural strength and environmental testing. Also compressive strength were tested according SFS-EN 12390-3 standard from fiber reinforced concrete. Results of the thesis were found out the standards considering the subject and what kinds of properties are required in Finland. Flexural strength, compressive strength of fibre reinforced concrete, mass loss due to environmental testing and adhesion of concrete and composite board were obtained as a result of testing from developed concrete composite paving flag.	
Subject headings, (keywords) Concrete composite, standard, fiber reinforced, paving flag, PP	
Pages 32+6	Language Finnish
Remarks, notes on appendices	
Tutor Aapo Nylen	Bachelor's thesis assigned by Hirel Oy

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO.....	1
2 HIREL OY	2
3 BETONI	2
3.1 Historiaa	2
3.2. Betonin koostumus.....	3
3.3 Sementtityypit	4
3.4 Sementin lujuusluokat.....	5
3.5 Betonin lujuus	5
3.6 Lujuusluokat.....	6
4 KOMPOSIITTI	6
4.1 Historiaa	7
4.2 Kuitulujitetut komposiitit.....	7
4.3 Partikkelilujitetut komposiitit.....	8
4.4 Laminaattikomposiitit	9
4.5 Kerroslevykomposiitit.....	9
5 TUOTE.....	10
5.1 Kuitubetoni.....	11
5.2 Pintamateriaali.....	13
6 STANDARDISOINTI.....	13
6.1 SFS-7017.....	14
6.2 SFS-EN 1339	15
6.3 Murtolujuus	16
6.4 Säilyvyys	18
7 TESTAUKSET.....	19
7.1 Taivutuslujuus.....	20
7.2 Olosuhdetestaus.....	22
7.3 Repäisytestaus	23
7.4 Puristuslujuus	24
8 JOHTOPÄÄTÖKSET	25
9 POHDINNAT.....	29

LÄHTEET.....	31
--------------	----

LIITTEET

- 1 Olosuhdetestaus
- 2 Leikkausjännitys
- 3 Puristuslujuus
- 4 Taivutuslujuus
- 5 Puristuslujuus kuormitus
- 6 Taivutuslujuusaika

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee betonikomposiittisen laatan rakennetta, vaatimuksia ja ominaisuuksia käytettäessä sitä päällystelaattana sekä testauksia, joilla todennetaan laatan ominaisuudet. Työn toimeksiantaja Hirel Oy on kehittänyt betonikomposiittilaatan, jonka rakenne koostuu polypropeenikuitulujitetusta betonista, johon oli yhdistetty valuvaiheessa UPM ProFi-deck -komposiittilauta mukaan pintamateriaaliksi. Näin laatan väriksi on monta valmista vaihtoehtoa, sen pinta on pitkäikäinen ja helppo pitää puhtaana. Komposiittilauta toimii myös kuitubetonin kanssa yhdessä ja sitkistää sitä. Käyttökohteita tuotteelle voivat olla esimerkiksi piha- ja terrasilaatat, portaat ja parveke-elementit. Opinnäytetyö lähti liikkeelle aloituspöydällä toimeksiantajan kanssa, jossa hän kertoi tuotteestaan, sen käyttömahdollisuuksista ja testeistä, mitä hän oli tehnyt alustavasti sekä mitä haluaisi sille tehtävän opinnäytetyön tiimoilta.

Työn tilaajalla oli työn teettämisen perusajatuksena saada tietoa betonikomposiittilaatan rakenteellisista ominaisuuksista. Työ aloitettiin tutustumalla betonirakentamiseen yleensä ja käymällä läpi käyttökohteita käsitteleviä standardeja. Opinnäytetyön tässä vaiheessa aihe rajattiin tarkemmin käsittelemään komposiittilaatan käyttämistä pihalaattana. Betonisia päällystelaattoja käsittelevien standardien SFS-7017 ja SFS-EN 1339 mukaan katsottiin, mitä ominaisuuksia ja vaatimuksia pihalaatalla täytyy olla Suomessa. Standardit käsittelevät betonilaatan muotoa, mittoja ja ominaisuuksia sekä eri käyttökohteiden määrittämiä vaatimuksia, kuten murto- ja taivutuslujuutta, säänkestoa ja nimellismittoja. Betonikomposiittipihalaatan oletettu käyttökohde tulee olemaan terassi- ja käytävälaattana. Käyttökohteen perusteella standardeista saadaan selville, mikä vaatimustaso laatan eri ominaisuuksilla täytyy olla, jotta se läpäisee testausvaatimukset ja on turvallinen käyttää.

Standardit ottavat kantaa lisäksi betonipäällystelaatan muodon ja mittojen pitävyyteen. Tässä työssä keskitytään kuitenkin betonikomposiittipihalaatan rakenteellisiin ominaisuuksiin, ei niinkään mittojen ja muodon tarkempaan tarkasteluun. Standardeista saatujen taivutuslujuuden ja säätestauksen lisäksi tuotteesta testataan pintamateriaalin ja betonin välinen kiinnittyminen repäisytestillä sekä kuitulujituksen vaikutus puristuslujuuteen. Taivutuslujuus testataan 50 mm betonivahvuudella sekä ilman komposiittilautaa, jotta saadaan vertailuarvot siitä, kuinka paljon lauta jäykistää ja sitkistää rakennetta lisää.

2 HIREL OY

Hirel Oy:n yrittäjä Leo Laatanaho perusti yrityksen huhtikuussa 2014 Hirvensalmelle. Yritys toimii kauppa- ja erikoisbetonialalla, ja koostuu sekatavarakaupasta, joka avasi ovensa kesäkuussa 2014, sekä erikoisbetonituotteiden tuotantopuolesta. Kauppa tarjoaa konevuokrausta yhteistyössä Konevuokrausykkösen kanssa, rakennustarvikkeita laatoituksesta ja muurauksesta aina kiinnitystarvikkeisiin sekä suojavaatteisiin asti. Myös huoneisto- ja kylpyhuoneremontit avaimet käteen periaatteella kuuluu tarjontaan. Yrityksellä ei ole tällä hetkellä käynnissä olevaa tuotantoa, vaan se keskittyy tuotekehittelyyn kauppapuolen myynnin ohella. Hirel Oy:n yhteistyökumppaneita ovat Juho-laastit, Berner pultti, Konevuokrausykköset sekä Miktech Oy. Yritys kuuluu Miktech Oy:n hautomoyrityksiin, minkä vuoksi Miktech Oy antaa yritykselle aina yritysideoista lähtien vahvaa toimialaosaamista sekä kauaskantoista yhteistyötä kohti kasvavaa ja kansainvälistä liiketoimintaa./11./

Yrityksen toimitilat koostuvat samassa rakennuksessa toimivista 600 m² tuotantotiloista ja 400 m² kaupasta. Tuotantotilojen puolella konekantaan kuuluvat muun muassa Altendorf-levysirkkeli, LAPA mixer -betonimylly ja betonin tiivistyspöytä.

3 BETONI

Betonin voidaan sanoa olevan keinotekoisesti valmistettua ”kiveä”, joka valmistetaan yhdistämällä irrallinen kiviaines veden ja jonkin sideaineen avulla kiinteäksi, kovaksi massaksi. Valmistustapa antaa laajat mahdollisuudet säädellä betonin ominaisuuksia, kuten lujuutta, muodonmuutoksia, säänkestävyyttä, tiiviyyttä ja läpäisevyyttä. /2,s.131./

3.1 Historiaa

Varhaisin kuvaus betonin valmistuksesta on noin 4500 vuoden takaa Egyptistä. Muinaiset roomalaiset valmistivat betoniin tarvittavaa sideainetta vulkaanista alkuperää olevista maalajeista, joita ovat esimerkiksi pozzolaani ja santoriini. Kyseisillä maalajeilla on samanlaisia kovettumisominaisuuksia kuin nykyisin käytettävällä sementillä,

joten näitä voidaan pitää luonnon muodostamina sementteinä. Ensimmäistä kertaa betonia käytettiin noin 2000 vuotta sitten tunnistettavasti, kun arkkitehti Vitruvius omisti kokonaisen luvun pozzolaanimaalle ja sen käytölle rakentamisessa kirjoittamassaan kirjassa. Roomalaisten ajan tunnetuimpia betonin käyttökohteita olivat Pantheonin valumuurirakenne, Napolin satamalaiturit ja roomalaisten akveduktit.

Roomalaisten jälkeen betonin käytöstä on säilynyt dokumentteja vasta 1700-luvun lopulta jolloin betonin kehitys sai varsinaisesti alkunsa. John Smeaton tutki vuonna 1753, että kaikki savipitoiset kalkkikivet muuttuvat poltettaessa hydrauliseksi kalkiksi. Smeatonilta jäi kuitenkin vielä selvittämättä, miksi hydraulista kalkkia valmistettaessa poltetun saven läsnäolo oli pakollista. Englantilainen James Parker kehitti vuonna 1786 ns. ”romanisementin”, jota ei tarvinnut sammuttaa vedellä kuten aikaisempaa hydraulista kalkkia, vaan se kovettui veden lisäyksen jälkeen nopeasti kehittämällä lämpöä.

Varsinaisen nykymuotoisen sementin keksijänä voidaan pitää englantilaista Joseph Aspdinia, joka kehitti ja patentoi vuonna 1824 sementin keinotekoisen valmistusmenetelmän, jossa sekoitettu saven ja poltetun kalkkikiven kuivunut seos poltettiin ja jauhettiin hienoksi. Aspdin kutsui sementtiään portlandsementiksi, koska se muistutti väriltään ja kovuudeltaan Portlandin seudun rakennustarkoituksiin käytettyä kiveä./2,s.131–132./

3.2. Betonin koostumus

Nykyaikainen betoni koostuu sementistä, runkoaineesta, mineraalisista seosaineista, vedestä sekä lisäaineista. Betonin runkoainetta sitoo sementtikivi, joka on kovettunutta sementin ja veden seosta. Koska pääosa betonin tilavuudesta (60–70 %) on runkoainetta, on sen ominaisuuksilla suuri merkitys. Sementtikivi on lujuus- ja muilta ominaisuuksiltaan usein runkoainetta heikompaa, joten betonin ominaisuudet riippuvat hyvin suurelta osin sementtikiven ominaisuuksista. Vesi-sementtisuhde kuvaa betonin laatua hyvin, koska ylimääräinen sementin kanssa reagoimaton vesi jättää jälkeensä kapilaarihuokoisuutta, joka heikentää sementtikiven ja näin ollen koko betonin lujuutta lisäten betonin läpäisevyyttä heikentäen samalla myös säänkestävyyttä. Betonimas-

san ja kovettuneen betonin ominaisuudet riippuvat pääasiassa käytettyjen aineosasten ominaisuuksista ja keskinäisistä suhteista. /2, s.138–139./

Betonin sideaineena voidaan käyttää yhdessä sementin kanssa mineraalisia seosaineita, joita ovat muun muassa lentotuhka, masuunikuona, ferrokromikuona ja silika (piioksidi). Seosaineiden sallitut määrät riippuvat käytetystä sementtilaadusta. Betonissa käytettyjä lisäaineita ovat betonimassan erilaiset notkistimet, huokostimet, kiihdyttimet (nopeuttavat kovettumista), hidastimet (hidastavat kovettumista), tiivistysaineet (pienentävät nesteiden läpäisevyyttä), injektioaineet (notkistavat ja hidastavat) ja väriaineet jolla saadaan betoniin haluttu väri./2,s.143–144./

3.3 Sementtityypit

Portlandsementti on hienoksi jauhetun Portland-klinkkerin ja kipsin seos. Sementin klinkkerin pääraaka-aine on kalsiumkarbonaatti (CaCO_3), eli kalkkikivi. Muut raaka-aineet ovat piioksidi (SiO_2), rautaoksidi (FeO_2) ja alumiinioksidi (Al_2O_3). Kaikki raaka-aineet jauhetaan, homogenisoidaan, esilämmitetään ja poltetaan kiertoilmauunissa. Kalkki, pii, alumiini ja rautayhdisteet reagoivat keskenään uunin $+1400$ -($+1500$) $^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa muuttuen kalsiumyhdisteiksi ja sintraantuvat sementtiklinkkeriksi. Klinkkeri jäädytetään ja sen joukkoon lisätään sopivan sitoutumisajan säätämiseksi kipsiä, jonka jälkeen seos jauhetaan sementtijauheeksi./2, s. 139./

SFS 3165 (11.10.1993) – standardin mukaan rakennussementti on rakennustarkoituksiin käytettävä hienojakoinen Portland-klinkkerin sekä seosaineiden hydrauliseen aktiivisuuteen perustuva sideaine, joka veden kanssa sementtikiveksi muuttuessaan liittää yhteen betonin ainesosat. Nykyiset rakennussementit jaetaan klinkkerin ja seosainesuhteen neljään tyyppiin (taulukko 1)./2, s. 139./

TAULUKKO 1. Sementtityypit /2,s.139/

Tyyppi	Klinkkeriä (%)	Seosainetta (%)
CEM I	95-100	0-5
CEM IIA	80-94	6-20 ¹⁾
CEM IIB	65-79	21-35 ^{1) 2)}
CEM III	20-64	36-80 ³⁾

- 1) Klinkkeriä enintään 10 %
- 2) Kalkkikiveä enintään 20 %
- 3) Vain masuunikuonaa.

3.4 Sementin lujuusluokat

Rakennussementit jaetaan standardilujuuksien mukaan kolmeen lujuusluokkaan 32.5, 42.5, 52.5. Sementin varhaislujuudet, jotka kuvaavat lujuuden kehitysnopeutta määritetään standardin SFS-EN 196-1 mukaisesti joko 2d:ssä tai 7d:ssä. Jokainen lujuusluokka jaetaan kahteen varhaislujuusluokkaan: normaali varhaislujuuskehitys ja nopea varhaislujuuskehitys, joka merkitään kirjaimella R (taulukko 2).

TAULUKKO 2. Lujuusluokat ja vaatimukset /2, s140/

Luokkatunnus	Puristuslujuusvaatimus MN/m ²		
	Varhaislujuus		Standardilujuus 28d
	2d	7d	
32,5	-	≥16	≥32,5≤52,5
32,5R	≥10	-	
42,5	≥10	-	≥42,5≤62,5
42,5R	≥10	-	
52,5	≥10	-	≥52,5
52,5R	≥10	-	

3.5 Betonin lujuus

Betonin lujuuteen vaikuttavat sementin laatu ja määrä, vesi-sementtisuhde, runkoaineen laatu ja rakeisuus, massan kovettumisikä- ja lämpötila, seosaineet, lisäaineet, veden laatu sekä massan tiivistys. Betonin tärkein ominaisuus, sen puristuslujuus, riippuu vesi-sementtisuhdesta, betonin iästä ja sementtilaadusta. Betonissa käytetyn runkoaineen lujuus on yleensä suurempi kuin sementtikiven, erikoislujuissa betoneissa suhde tasoittuu huomattavasti. Normaali betonilla paikallisvalussa käytettävä puristuslujuus on yleensä 30–35 MN/m², elementtituotannossa yleisiä puristuslujuuksia on 40-

50 MN/m² kun taas pientalokohteissa rakennuspaikalla sekoitettava betoni saavuttaa tavallisesti 10–20 MN/m² puristuslujuuden.

Kun betonin vesimäärä kasvaa yli sementin hydratoitumiseen tarvittavan määrän, osa vedestä jää reagoimatta, jolloin muodostuu kapilaarihuokosia. Huokosia syntyy myös jos betoniin jää ilmaa. Nämä huokokset ovat betonin lujuuden ja säilyvyyden kannalta heikkoja lenkkejä. Muita lujuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat sementtimäärä suhteessa runkoaineen määrään, runkoaineen rakeisuus, runkoaineen muoto ja pinnan laatu, kovettuneen betonin kosteuspitoisuus./2,s.148./

Betonin runkoaineen määrällä on suuri merkitys lujuuteen, koska sitä voi olla jopa 70 % betonista. Runkoaineen muoto on parempi rakeisena (murske) kuin sileänä (kivi), koska murskeessa on parempi tartuntapinta sideaineelle. Betonin tulee sisältää oikeassa suhteessa erikokoista runkoainesta niin että massa on hyvin tiivistyvää, runkoaineen väliset tyhjät tilat ovat mahdollisimman pieniä sekä runkoaineen määrä on mahdollisimman suuri verrattuna sementtiin. Runkoaineen suurin raekoko on sovitettava käytettävään työmenetelmään, rakenteen muotoon ja mittoihin sekä käytettävään raudoitukseen siten, että betonointityö saadaan suoritettua sujuvasti./2,s.142–143./

3.6 Lujuusluokat

Betonin lujuuden yksikkönä käytetään megapascalia (MPa) 1 MPa=1 MN/m². Betonin lujuus määritetään 28 vuorokauden iässä. Tämänkin jälkeen betonin lujuuden kehittyminen jatkuu, mutta hitaammin. Betoni jaetaan lujuutensa puolesta puristuslujuusluokkiin, jotka ilmaistaan esimerkiksi merkinnöillä K30 tai C25/30. Molemmat merkinnät tarkoittavat, että betonin puristuslujuus on 30 MPa. Betoniteollisuuden käyttämät lujuudet ovat yleensä K30...K60 (C25/30...C50/60)./3/

4 KOMPOSIITTI

Komposiitit ovat yhdistelmäateriaaleja, joiden tarkoituksena on yhdistää kahden tai useamman eri materiaalin ominaisuudet, niin että ominaisuuksien tulos on enemmän kuin osiensa summa. Sana komposiitti on yleisnimitys kaikille kahden tai useamman

materiaalin yhdistelmille, joissa materiaalit toimivat yhdessä, mutta eivät ole liuenneen tai sulautuneet toisiinsa. Joskus komposiitin materiaalit ovat tasavertaisia, jolloin niiden tehtävää ei voida määritellä. Useimmiten komposiitista voidaan kuitenkin nimetä materiaaliyhdistelmän kokonaiseksi sitova aineosa, jota kutsutaan matriisiksi. Matriisin yhteen sitomat muut ainesosat voivat olla partikkeleita tai ohuita kuituja. /1,s.17/.

Eri komposiittimateriaalit voidaan luokitella seuraavasti:

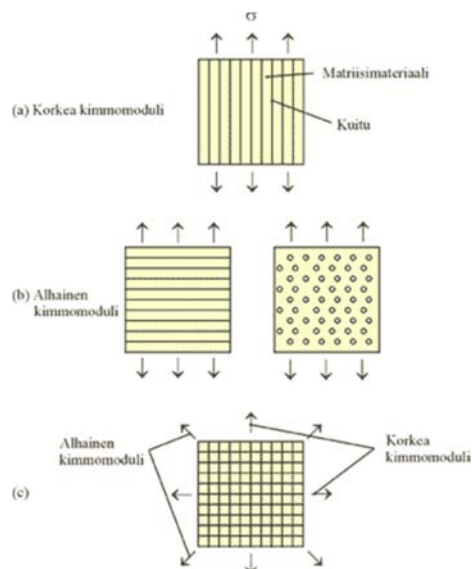
- Kuitulujitetut komposiitit.
- Partikkelilujitetut komposiitit.
- Laminaattikomposiitit.
- Kerros, eli sandwich-rakenteet.

4.1 Historiaa

Ensimmäiset tavatut komposiitit ovat ajalta 4000 eaa. Tuolloin ihmiset valmistivat komposiittimateriaalia sekoittamalla savea ja olkia, josta kehittyi tiili. Tiilissä savi toimi matriisina ja olki lujitteena. Myös betoni voidaan luokitella komposiitiksi. Betonissa sementti on matriisi runkoaineen toimiessa lujitteena. Ensimmäinen patenti muovikomposiittialalta myönnettiin 1900-luvun alussa, ja se koski fenolimuovin lujittamista. 1930-luvulla kehitettiin polyesteri- ja epoksimuovit, jolloin muovikomposiitit alkoivat saada kaupallista merkitystä. Ensimmäiset teolliset menetelmät muovikomposiittien massatuotantoon kehitettiin 1940-luvulla. Lasikuidun teollinen tuotanto alkoi 1930-luvulla ja hiilikuitujen 1950-luvulla. Boori-, piikarbidi- ja alumiinikuidut kehitettiin 1990-luvulla./4./

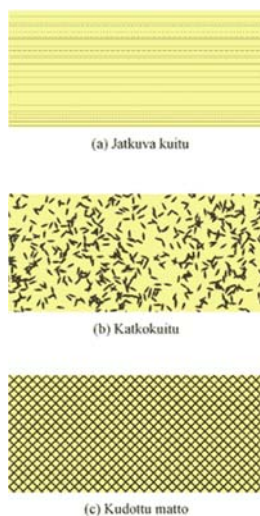
4.2 Kuitulujitetut komposiitit

Kuitulujituksessa käytetään hyväksi kuitujen hyviä lujuusominaisuuksia ja jäykkyyttä niiden vetosuunnassa. Seuraavalla sivulla oleva kuva havainnollistaa kuitujen edullisen suuntauksen komposiittirakenteessa suhteessa jännityksen suuntaan (kuva 1).



KUVA 1. Kuitulujitetun komposiitin jäykkyys eri kuormitus suunnissa /16/

Yleisimmin kuitu on komposiitissa jatkuvana yksisuuntaisena kuituna, katkokuituna tai kudottuna mattona (Kuva 2).



KUVA 2. Kuitutyypit /4/

4.3 Partikkelilujitetut komposiitit

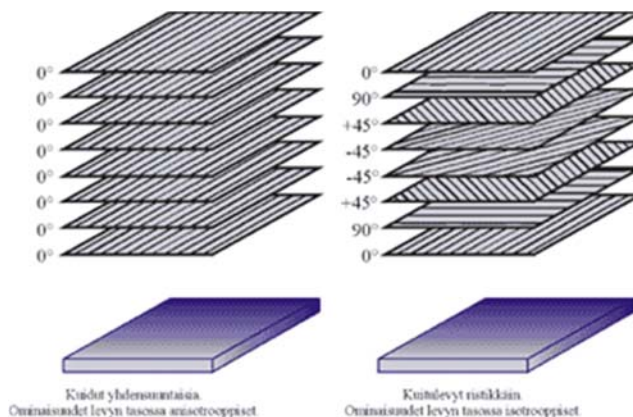
Käyttämällä kovia, lujia ja jäykkiä partikkeleita matriisissa saadaan komposiitin ominaisuuksia parannettua kaikissa tarkastelusuunnissa. Muutamia esimerkkejä partikkelilujitetuista komposiiteista: Betoni, jossa sementti on matriisina ja runkoaine toimii

lujitteena. Alumiininen maastopyörän runko, jossa on piikarbidia (SiC) seassa. Piikarbidia parantaa rungon jäykkyyttä ja kulutuskestävyyttä, koska se on kovempaa.

Koneistuksessa käytettävä teräpala on pinnoitettua kovametallia. Teräpala koostuu wolframikarbidihiukkasista, jotka ovat yhdistyneenä runsaasti kobolttia sisältävään sideaineeseen/5./.

4.4 Laminaattikomposiitit

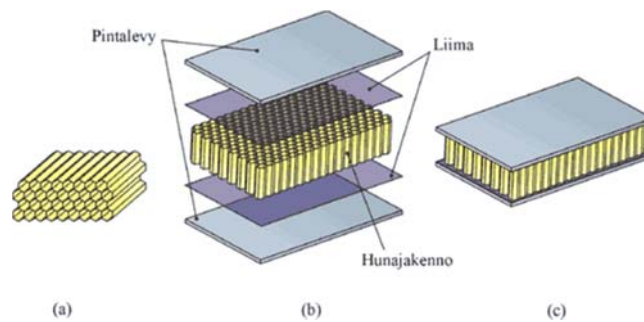
Kuitulujitettujen komposiittien ongelmana on, että hyvät ominaisuudet saadaan kahden suuntaan. Ongelma on lujuus 45° kulmassa kumpaankin kuitusuuntaan nähden. Ratkaisuna on laittaa monta mattokerrosta päällekkäin, jotka voivat olla lujitettu yksisuuntaisella kuidulla. Näin saadaan kasvatettua laminaatin lujuutta haluttuihin suuntiin (Kuva 3).



KUVA 3. Laminaatti /4/

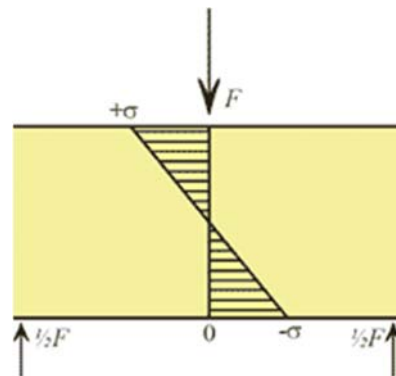
4.5 Kerroslevykomposiitit

Kerroslevyrakenteet eli sandwich-rakenteet koostuvat ohuista ylä- ja alapinnoista sekä paksusta ytimestä. Rakenteesta periaatekuva seuraavalla sivulla (kuva 4).



KUVA 4. Kerroslevyrakenne /4/

Kerroslevyrakenteella saadaan suuri taivutuslujuus ja keveys samaan aikaan. Kerroslevyrakenteen toiminta selviää, kun tarkastellaan paksun levyn taivutusta ja siihen kohdistuvia voimia (Kuva 5.)



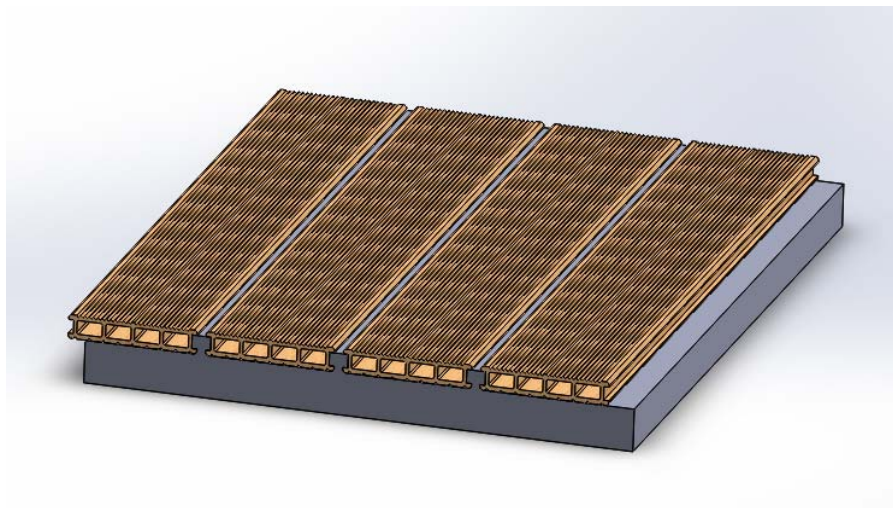
KUVA 5. Kuormitus /4/

Taivutettaessa levyä komipistetaivutuksella huomataan, että levyn ylä- ja alapintaan kohdistuu suurimmat jännitykset, alas vetojännitystä ja ylös puristusjännitystä. Keski-osaan ei kohdistu läheskään niin suuria jännityksiä, joten levyn keskiosa ei kannan niin suuria jännityksiä kuin se kykenisi kantamaan. Näin ollen keskiosa voidaan korvata kevyellä ydinaineella, joka keventää komposiitin painoa. Tyypillisiä ydinaineita ovat hunajakennorakenteet, balsapuu tai esimerkiksi rakentamisessa teräslevyjien välissä käytettävä villa/polymeerivaaho./4/

5 TUOTE

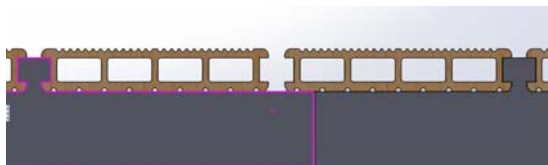
Tässä opinnäytetyössä käsiteltävä tuote on betonikomposiittilaatta (Kuva 6). Laatta koostuu S100-valmisbetonilaadusta (K 30), joka on lisäksi lujitettu polymeerikuidulla. Laattaan on valuvaiheessa valettu pintamateriaaliksi UPM- ProFi -komposiittilautaa

jäykistämään rakennetta entisestään sekä parantamaan käytettävyyttä ja ulkonäköä. Lauta tarttuu pohjasta ja kyljistään betoniin, lisäksi betonin kovettuessa lauta kiinnittyy kuitubetoniin muotonsa puolesta kyljistään. Laattoja asetettaessa vierekkäin niiden väliin jää 10 mm rako, joka asennusvaiheessa saumataan tasaiseksi.



KUVA 6. Betonikomposiittipihalaatta

Kun laatoilla peitetään isompaa aluetta, komposiittilautojen väliin jää 10 mm rako, joka täytetään laastilla asennettaessa (Kuva 7). Pihalaatta on muotoiltu niin, että lauta muodostaa viereisen pihalaatan kanssa portaan, joka pitää aluskasvillisuuden allaan. Lisäksi portaan kautta johtuu pihalaatan päällä olevan esim. ihmisen massan vaikutuksesta kuormitusta seuraavaan laattaan. Kuormituksen suuruus riippuu laatan alapuolisesta tuennasta, onko alapuoli täysin tasattu vai onko rakenne nostettu maanpinnasta ylös.



KUVA 7. Laatan porrastus

5.1 Kuitubetoni

Kuidun lisäys betoniin parantaa sen vetolujuutta, kulutuskestävyyttä, palonkestomaisuuksia sekä koossapysyvyyttä. Yleisemmin käytetty betonin lujitekuitu on

muovi-, lasi-, tai teräskuitu. Pääasiassa kuitubetonia käytetään maanvaraisissa laatoissa, rakennusten välipohjissa tai perustusten paalulaatoissa. Kuidun lisääminen betonimassaa sitkistää sitä ja betonin notkeus täytyy säätää jokaiselle kuitutyypille ja -määrälle erikseen kohdalleen. Teräskuitubetonissa käytettävän kuidun vetolujuus on 1000 - 1400 MPa, joka on lähes kaksinkertaisesti verrattuna normaalin raudoitusteräksen vetolujuuteen.

Teräskuitubetoni pystyy kantamaan kantavien rakenteiden kuormituksia kuten normaalikin raudoitusteräs, kun taas muovikuitubetoni rajoittaa halkeilua. Teräskuituja annostellaan 30 - 100 kg/m³, muovikuituja puolestaan 3 - 15 kg/m³ /6/. Käytettäessä suuria kuitumääriä betonin täytyy olla itse tiivistyvää laatua, jotta se pysyy työstettävänä ja pumpattavana.

Kuidun muodolla on merkitystä sen toiminnan kannalta, koukut kuidun päässä, kiharus ja kierteisyys parantaa kuidun tartuntaa massaan. Mikrokuidut soveltuvat kutistumishalkeilun rajoittamiseen ja pitemmät makrokuidut soveltuvat lujuus- ja sitkeysominaisuuksien parantamiseen./6./

Komposiittipihalaatan lujittamisessa käytetään yhdysvaltalaisen Forta-yhtiön Forta-Ferro -kuitua (Kuva 8). Kyseinen kuitu on polypropeenimakrokuitu, joka koostuu kahdesta eri tyypin polymeeristä ja kuitu on kierretty. Kuitu parantaa betonin sitkeyttä ja iskunkestävyyttä sekä vähentää plastisen vaiheen halkeilua. Käytetyn kuidun pituus on 54 mm, vetolujuus 570 - 660 MPa, kimmomoduuli 4700 MPa ja tiheys 0.9 Kg/dm³. Kuidun kohtuullisen kimmomoduulin ja hyvän vetolujuuden ansiosta lujitetun betonin virumisominaisuudet vastaavat lähes teräskuidulla lujitettua betonia. /15./



KUVA 8. Forta ferro /15/

5.2 Pintamateriaali

Pihalaatan pintamateriaalina käytetään UPM ProFi deck -puumuovikomposiittilautaa. Lauta on valmistettu puukuidusta, polypropeenista ja kierrätysmuovista. Komposiittilauta sisältää vähintään 50 prosenttia tarratuotannon ylijäämänä syntyvää kierrätysmateriaalia. Lauta valmistetaan suulakepuristamalla ja sen ligniinimäärä on minimoitu, joten sen värit haalistuvat käytössä hyvin vähän. Suljetun pintarakenteen vuoksi vedenimeytyminen on vähäistä komposiittilautaan ja puhtaanapito helppoa. Komposiittilaudan lämpölaajenemiskerroin on $4,0 \cdot 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{C}$, kun taas betonin vastaava arvo on $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{C}$. Tämä aiheuttaa leikkausjännitystä pihalaatan lämmitessä ja jäähtyessä. Komposiittilaudan turpoaminen on vähäistä, joten se ei aiheuta merkittävää leikkautumista betonin kanssa. Laudan taivutuslujuus on matala. Kuvassa 9 esitetään komposiittilaudan tekniset tiedot.

Ominaisuus	Testimenetelmä	Testiarvo
Tiheys, g/cm ³	EN ISO 1183*	1,2
Taivutuslujuus, N/mm ²	EN 310*	13
Iskujuuus, J	EN 477*	+23°C Ei murre (>30) -20°C Ei murre (>15)
Pinnan kovuus (Brinell), N/mm ²	EN 1534*	28
Kulutuksenkesto (Taber 1000 r), mm	EN 438-2	0,16
Kiika (märkänä/kuivana)	FSC 2000	0,54 / 0,83
Pistekuorman kestävyys	EN 1533	2600 N
Paloluokka	EN 13501-1	E
Termitinkestävyys (eurooppalainen laji)	EN 117	Kestävä
Lämpölaajenemiskerroin, 1/°C	ISO 11359-2*	$4,0 \times 10^{-5}$
Lämmönjohtavuus, W/mK	ISO 8301	0,24
Vedenimeytymä (24 h), %	EN 317*	< 2,5
Turpoaminen, paksuus (24 h), %	EN 317*	< 1

* Perustuu puumuovikomposiitteja koskevaan standardiin CEN/TS 15534.

Taulukon arvot ovat laatuasteista saatuja ominaisarvoja, eikä niitä ole tarkoitettu lujuslaskentaan käytettäväksi.

KUVA 9. ProFi- tekniset tiedot /11./

6 STANDARDISOINTI

Opinnäytetyön yksi tärkein tavoite oli saada komposiittipihalaatta testattua vähintäänkin taivutuslujuuden osalta. Mahdollisia testauksia lähdettiin miettimään käyttökohteen ja sitä koskevien standardien pohjalta. On tärkeämpi saada tuote testattua kattavasti silmälläpitäen yhtä pääkäyttökohdetta kuin tekemällä monia eri testauksia, jotka eivät suoranaisesti liity toisiinsa. Näin ollen työlle saadaan tarkempi päämäärä.

Mahdollisia testauksia lähdettiin miettimään yhden tulevan pääkäyttökohteen, eli pihalaatan, kautta. Sitä koskevista standardeista selviää, mitä ominaisuuksia ja testauksia komposiittipihalaatalle täytyy tehdä, jotta se tulee testattua riittävän laajalti ja oikeanlaisilla testeillä. Standardisoinnilla tarkoitetaan yhteisten toimintatapojen laatimista, mikä helpottaa viranomaisten, elinkeinoelämän ja kuluttajan arkea. Standardisoinnilla lisätään tuotteiden yhteensopivuutta ja turvallisuutta, suojellaan kuluttajaa ja ympäristöä sekä helpotetaan kotimaista ja kansainvälistä kauppaa./8./

Standardien kirjainyhdisteet SFS, EN, ISO ilmoittavat organisaation, joka on vahvistanut standardin tekstin. Suomen standardisoiimisliiton tunnus on SFS, eurooppalaisen standardisoiimisjärjestön (CEN) tunnus on EN ja kansainvälisen standardisoiimisjärjestön ISO: n tunnus on ISO. Jos nimessä mainitaan useampia lyhenteitä esim. SFS-EN, tarkoittaa tämä, että standardi on hyväksytty Suomessa ja Euroopassa, mutta ei kansainvälisesti./8./

Betonipäällystepihalaattoja koskevat standardit SFS-7017 ja SFS-EN 1039 +AC. Nämä standardit johtavat rakennustuotteiden CE- merkintään ja esittävät harmonisoiduille ominaisuuksille eurooppalaisen testimenetelmän, laskentamenetelmän ja taulukkoarvot sekä sen, miten ominaisuuksiin liittyvät arvot, luokitukset ym. esitetään CE-merkinnässä./7./

Opinnäytetyön tavoitteena ei ole saada komposiittipihalaatalle CE- merkintää, vaan testata laatan rakenteellinen toimivuus, ominaisuudet ja selvittää käyttökohteiden mukaiset standardit. Käyttökohteeksi on rajattu pihalaatta.

6.1 SFS-7017

Standardi on laadittu eurooppalaisia yhdenmukaistettuja tuotestandardeja SFS-EN 1338, SFS-EN 1339, SFS-EN 1340, SFS-EN 1341, SFS-EN 1342, SFS-EN 1343 täydentäväksi kansalliseksi soveltamisstandardiksi. Standardissa esitellään suositus, mitkä ominaisuudet on ilmoitettava ko. tuotestandardien mukaan CE- merkitylle päällystekivituotteelle (betoniset päällystekivet, -laatat ja reunakivet sekä luonnonkivestä

tehdyt päällystelaatat, noppa- ja nupulakivet ja reunakivet) eri käyttökohteissa sekä niille ominaisuuksille asetetut vähimmäisvaatimustasot ja luokat. /9./

Standardin asettamat ominaisuuksien minimivaatimustasot Suomessa eri käyttökohteiden mukaan (kuva 10). Kuvasta katsottuna esimerkiksi säilyvyyden pitää täyttää luokka 3/D, mikäli laatta on säälle alttiina. Pihalaatasta on testattava seuraavat ominaisuudet: mittapoikkeamat, asbestipäästö, murtolujuus ja säilyvyys vaatimustason antaman luokan mukaan.

4.2 Betonipäällystelaatoille eri käyttökohteissa vaadittavat ominaisuudet ja asetetut vaatimustasot

Ominaisuus	Käyttökohte	Vaatus Suomessa	Vaatus taso
Mittapoikkeamat ¹⁾	Kaikki	Kyllä	Liitteen A luvun 2 mukainen
Palokäyttäytyminen	Kaikki	Ei	
Asbestipäästö	Kaikki	Kyllä	Ei saa sisältää
Murtolujuus ²⁾	Kaikki	Kyllä	Ominaislujuuslujuus Luokka/merkintä 3/U
Kulutuskestävyys ¹⁾	Ajoneuvoliikennettä	Kyllä	Luokka/merkintä 4/1 tai 3/H
	Kevyttä liikennettä	Ei	
Liukastumisvastus/ luisumisvastus	Kaikki	Ei	
Lämmönjohtavuus	Kaikki	Ei	
Säilyvyys	Säälle alttiina	Kyllä	Luokka/merkintä 3/D
	Muu käyttö	Ei	

¹⁾ Mittapoikkeamat/kulutuskestävyys on käsitelty standardissa SFS-EN 1339+AC:2003, mutta ei sen harmonisoidussa osassa, eikä siten CE-merkintänä. Toimintatieto on ryhdytty ko. ominaisuuksien käsittelemiseksi standardin harmonisoidussa osassa.

²⁾ Alempaa luokkaa 2/T voidaan käyttää yksityisalueilla, joissa ei ole ajoneuvoliikennettä eikä konesellista kunnossapitoa.

KUVA 10. Betonipäällystelaatan vaatimukset /9, s. 6/

6.2 SFS-EN 1339

Standardista selviää raudoittamattomien sementillä sidottujen betonisten päällystelaattojen ja niitä täydentävien kappaleiden materiaalit, ominaisuudet, vaatimukset ja testausmenetelmät. Standardi koskee betonisia päällystelaattoja ja niitä täydentäviä kappaleita, jotka on tarkoitettu liikennöidyille päällystetyille alueille ja päällystettyjen kattojen katteiksi./10,s.6./

Standardista SFS-7017 saatujen ominaisuuksien vaatimustasojen luokkajaot löytyvät tästä standardista.

6.3 Murtolujuus

Laatan ominaistavuusluokan pitää täyttää Suomessa käytettäessä luokka 3/U (yksityisalueilla, jossa ei ole koneellista kunnossapitoa tai ajoneuvoliikennettä riittää luokka 2/T). Luokassa 3/U ominaistavuuslujuus täytyy olla vähintään 5 MPa, yksikään sarjan mitattu arvo ei saa olla pienempi kuin 4 MPa (kuva 11). Jos tuotannosta otetun näytteen määrä testaukseen on 8 laattaa tai vähemmän kaikkien tulee täyttää ominaistavuusvaatimus, jos näin ei ole, nostetaan näytteen määrää 16 laattaan ja tästä määrästä yksi saa olla alle ominaistavuuslujuuden /10/.

6.3.3 Taivutuslujuus

6.3.3.1 Testausmenetelmä

Ominaistavuuslujuus määritetään liitteen F mukaisella testillä. Vaatimustenmukaisuuden ehdot on esitetty kohdassa 6.3.8.3.

6.3.3.2 Vaatimus ja luokitus

Ominaistavuuslujuuden tulee olla vähintään ko. luokalle taulukossa 5 esitetyn arvon suuruinen.

Yksikään yksittäinen tulos ei saa olla pienempi kuin vastaava taulukossa 5 esitetty taivutuslujuuden vähimmäisarvo.

Taulukko 5 Taivutuslujuusluokat

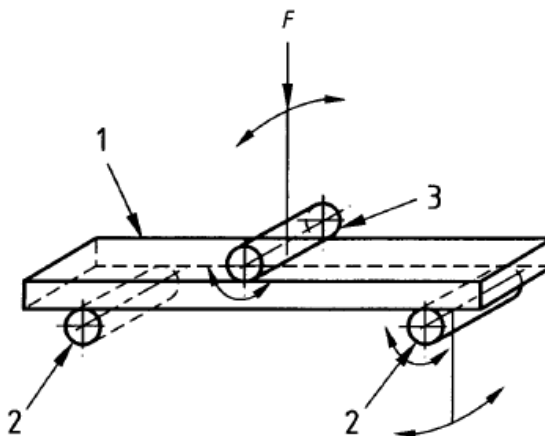
Luokka	Merkintä	Ominaistavuuslujuus MPa	Vähimmäistavuuslujuus MPa
1	S	3,5	2,8
2	T	4,0	3,2
3	U	5,0	4,0

Soveltamisohjeita voidaan antaa kansallisesti.

KUVA 11. Taivutuslujuusluokat /10, s. 11/

Kappaleen taivutuslujuuden ja murtokuorman mittaaminen suoritetaan 3-pistetäivutuksena (kuva 12). Koekappaleina käytetään kokonaisia laattoja, mikäli niissä on kaksi yhdensuuntaista reunaa. Jos laatassa ei ole samansuuntaisia reunoja sahaetaan koekappale, jossa on samansuuntaiset reunat ja sen tasopinta on mahdollisimman suuri. Ylätuken ja alatukien on oltava samansuuntaiset sekä ylätuken on oltavan alatukien puolessavälissä. Tukien kaarevuussäde on oltava 20 ± 1 mm. /10, s. 36./

Kappale asetetaan kuormituskoneeseen niin, että lyhyempi sivu on kuormitustukien suuntainen.



KUVA 12. 3-pistetaivutus /10, s. 36/

1. Koekappale
2. Alatuki
3. Kuormituspalkki

Koekappaleet valmistellaan taivutustestiin pitämällä niitä 24 ± 3 h:n ajan upotettuna 20 ± 5 °C vedessä, jonka jälkeen laatat kuivataan liinalla ja testataan välittömästi. Testaus suoritetaan tasaisesti ilman iskuja ja kuormitusnopeus säädetään siten, että murtokuorma saavutetaan 45 ± 15 s:ssä.

Laatan ominaistaivutuslujuus T [MPa] lasketaan kaavalla (kaava 1) mitatusta murtokuormasta. Testattavan kappaleen on oltava poikkileikkaukseltaan suorakulmio, jotta seuraava kaava pätee.

$$T = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot t^2} \quad (1)$$

T on lujuus [MPa]

P on murtokuorma [N]

L on tukien välinen etäisyys [mm]

b on laatan leveys murtotasossa [mm]

t on laatan korkeus murtotasossa [mm]

Testiraporttiin kirjataan murtokuorma 0.1 kN:n tarkkuudella ja taivutuslujuus 0.1 MPa:n tarkkuudella.

6.4 Säilyvyys

Säilyvyyden pitää suomen olosuhteissa vastata luokkaa 3/D, mikäli pihalaatta on säälle alttiina. Laatasta ei saa irrota materiaalia suolapakkaskokeen aikana yli 1,0 kg/m² (Kuva 13)/10, s.11./

Taulukko 4.2 Jäänpoistosuolujen avulla määritetty jäädytys-sulatuskestävyys

Luokka	Merkintä	Massahävikki jäädytys-sulatus-testin jälkeen kg/m ²
3	D	keskiarvo ≤ 1,0 mikään yksittäinen arvo ei saa olla > 1,5

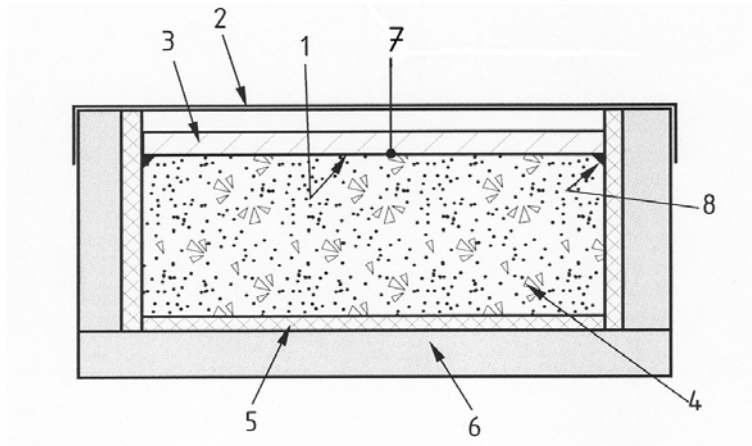
KUVA 13. Suolapakkaskoe /10, s. 11/

Suolapakkaskokeessa koekappaleita esivarastoidaan, minkä jälkeen siihen kohdistetaan 28 jäädytys- ja sulatussykliä siten että koekappaleen pinta on peitetty kolmeprosenttisella NaCl-liuoksella. Testauksen aikana hilseilyt materiaali kerätään talteen ja punnitaan. Koekappaleen testattavan pinnan tulee olla suurempi kuin 7500 mm², mutta pienempi kuin 25000 mm². Paksuus saa olla maksimissaan 103 mm. Jos kappaleita täytyy sahata laatasta tämän vaatimuksen saavuttamiseksi, laatan pitää olla yli 20 vuorokautta vanha./10, s.29./

Testattavien koekappaleiden tulee olla vähintään 28 vuorokauden ikäisiä, mutta enintään 35 vuorokauden ikäisiä. Puhdistettuja koekappaleita jälkihoidetaan 168 ± 5 h:n ajan ilmastointikaapissa, jonka lämpötila on 20 ± 2 °C, suhteellinen kosteus 65 ± 10 % ja haihtumisnopeus ensimmäisen 240 ± 5 min aikana 200 ± 100 g/m². Koekappaleiden välissä tulee olla minimissään 50 mm ilmarako.

Jälkihoidon aikana koekappale valmistellaan suolapakkaskoetta varten. Sen reunoille liimataan kumilevyä, kumin päälle lämmöneristelevä ja saumat tiivistetään siliko-

nikumilla. (Kuva 14.) Jälkihoidon jälkeen testataan koekappaleen vedenpitävyys.



KUVA 14. Koekappaleen valmistelu suolapakkaskoetta varten /10, s. 31/

1. Testattava pinta
2. Polyeteenikalvo
3. NaCl-liuos
4. Koekappale
5. Kumilevy
6. Lämmöneriste
7. Lämpömittari
8. Tiiviste

28 syklin jälkeen jokaisen koekappaleen pinnasta irronnut materiaali harjataan ja pestään astiaan ja kaadetaan suodatinpaperin läpi, paperiin jäänyt materiaali pestään talousvedellä natriumkloridin poistamiseksi. Suodatinpaperia ja siinä olevaan materiaalia kuivataan vuorokauden ajan 105 ± 5 °C lämpötilassa. Irronneen materiaalin kuivamassa mitataan ± 0.2 g:n tarkkuudella.

7 TESTAUKSET

Testaukset suoritettiin Mikpolis Oy:n tiloissa Mikkelin ammattikorkeakoululla. Testauksessa tarvittavat koekappaleet valmistettiin Hirel Oy:n toimitiloissa Hirvensalmella valamalla testikappaleet vanerimuoteissa (Kuva 15).



KUVA 15. Vanerimuotti

Pihalaatalle suoritetaan neljä testiä: säätetausta, repäisytesti ja taivutus- sekä puristuslujuustesti. Säätetausta lukuun ottamatta muut tehdään Shimadzu autograph AG 100-kuormituskehällä (Kuva 16). Kuormituskehän maksimaalinen testausleveys on 550 mm ja maksimi puristusvoima 100 kN. Kehällä voidaan tehdä erilaisia materiaalitestejä, muun muassa puristus-, veto- sekä taivutustestauksia.



KUVA 16. Shimadzu autograph AG 100

7.1 Taivutuslujuus

Laatan taivutuslujuus testattiin Shimadzu autograph AG 100 (Kuva 16) –kuormituskehällä. Koekappaleita valmistettaessa täytyi ottaa huomioon kuormituske-

hän luomat rajoitteet testattavan kappaleen mittoihin. Pihalaatan lopullinen mitta tulee olemaan noin 800 mm*800 mm, kun taas taivutuslujuus pystytään testaamaan maksimissaan 550 mm leveästä kappaleesta. Tästä johtuen koekappaleet valmistettiin 490*800 mm nimellismittoihin. Pihalaatan kuitubetonivalun paksuutena oli tarkoitus käyttää sekä 50 mm että 40 mm kerrosta, näin saataisiin selville valun paksuuden vaikutus koko laatan taivutuslujuuteen. Jokaista laatan paksuutta komposiittilaudalla ja ilman oli tarkoitus valmistaa kolme kappaletta.

Testeihin saatiin kaksi laattaa komposiittilaudalla ja kaksi ilman lautaa, ilman lautaa olevien laattojen betonivalun paksuus oli 50 mm ja laudalla olevan laatan valun paksuus oli 40 mm. Komposiittilauta oli 10 mm koholla, joten kokonaispaksuus oli 50 mm. Testausta varten kuormituskehä varustettiin kuormituspalkilla sekä ylä- ja alatuilla (Kuva 17), sopivat tuet teetettiin paikallisessa metallialan yrityksessä tätä testausta varten.



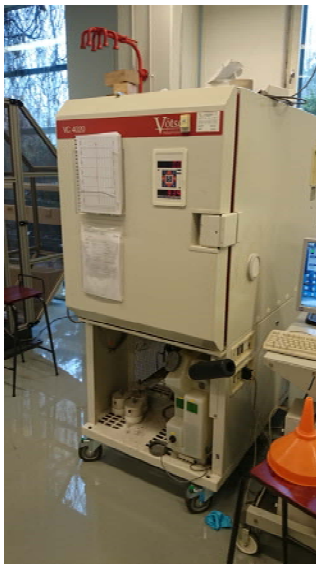
KUVA 17. Taivutuslujuustestaus

Testaus suoritettiin mukailien standardia SFS-EN 1339, koska laattoja ei ollut pidetty vuorokautta upotettuna veteen ennen testausta, myös laatan murtumiseen johtava kuormitusnopeus ei täytä standardin vaatimuksia jokaisen laatan kohdalla. Laatan kuormitusnopeutena käytettiin 5 mm/min jokaisella laatalle, jolloin laatat murtoivat 50 - 110 s ajassa. (Liite 6.)

Kuormituskehän mittaamista arvoista tulostettiin suurin murtovoima ja siirtymä, täydelliseen murtumiseen mennyt aika ja taivutuslujuus (Liite 4).

7.2 Olosuhdetestaus

Olosuhdetestaus suoritettiin Vötsch VM 4020 -olosuhdekaapissa (Kuva 18) standardin SFS-EN 1339 mukaan. Olosuhdekaapin testauslämpötila ulottuu -45 – $+180^{\circ}\text{C}$ lämpötilaan. Kaapin suhteellinen kosteuden säätöalue on 1 - 100 %.



KUVA 18. Vötsch-olosuhdekaappi

Testauksessa käytettäviä koekappaleita valmistettiin kolme kappaletta komposiittilaudalla ja kolme ilman komposiittia. Mitoiltaan ne olivat $100\text{ mm} \times 200\text{ mm}$, jolloin testattavaksi pinta-ala tuli 20000 mm^2 . Koekappaleet on valmistettu niin, että niissä jokaisessa on mukana komposiittilaudan sekä betonin rajakohta. Ennen testausta kappaleet päällystettiin 3 mm kumimatolla sekä lämpöeristettiin 30 mm Finfoam-levyllä, lisäksi kumin ja koekappaleen rajapinta tiivistettiin kumiliimalla (Kuva 19).



KUVA 19. Olosuhdetestauskappale

Olosuhdekaapin lämpötila ohjelmoitiin noudattamaan standardin antamaa lämpötilavaihtelua 28 vuorokauden ajaksi, lisäksi yhden koekappaleen testattavalle pinnalle asetettiin lämpötila-anturi, joka mittaa lämpötilaa kahden tunnin välein (Liite 1). Näin koekappaleen pintalämpötilaa voidaan seurata ja verrata standardin antamiin toleranssiin.

Olosuhdetestauksen jälkeen testauskappaleesta on hyvä tarkastella sen vaikutuksia betonin ja komposiittilaudan kiinnittymiseen toisiinsa, esimerkiksi naputtamalla komposiittilautaa pois paikoiltaan ja katsomalla, onko materiaalien rajapinnassa merkkejä adheesiosta.

7.3 Repäisytestaus

Repäisytestaus toteutettiin Shimadzu autograph AG 100 (kuva 15) -kuormituskehällä. Betonipäällystelaattoja koskevissa standardeissa ei käsitellä repäisytestiä, mutta se haluttiin tehdä, koska pihalaatassa on erillisenä pintamateriaalina komposiittilauta ja siihen on suunniteltu asennusporras, johon kohdistuu kuormitusta käytössä. Repäisytestissä komposiittilautaa vedetään betonista irti, jolloin voidaan selvittää komposiittilaudan sekä kuitubetonin liitoksen kestävyyttä ja sen kuormankantokykyä. Testauskappaleet valmistetaan kokoon 150 mm*150 mm*50 mm, ja niitä valmistetaan laatan sivusta kolme kappaletta ja laatan päästä kolme kappaletta.

Testikappaleita valmistettaessa huomattiin, että komposiittilauta irtoaa lähes käsivoimin betonivalusta, joten testin jatkamista tästä eteenpäin ei katsottu tarpeelliseksi.

7.4 Puristuslujuus

Kuitubetonin puristuslujuus testattiin myös Shimadzun valmistamalla kuormituskehällä (kuva 16) kuution muotoisesta betonikappaleesta, mukailleen standardia SFS-EN 12390-3. S-100 -betonin puristuslujuus ilman kuitulujitusta on 30 MPa ja käytettävissä oleva puristusvoima on 100 kN. Arvot syöttämällä puristuslujuuden kaavaan saadaan selville maksimaalinen koekappaleen poikkileikkauspinta-ala. Koekappaleita valmistettiin 4 kappaletta ja niiden nimellimitat ovat 50 mm*50 mm*50 mm, jolloin kuormituskehän kapasiteetti riittää testaukseen. Koekappaleita pidetään maksimissaan kolme vuorokautta valumuoteissaan, jonka jälkeen ne säilytetään 20 °C vedessä testaukseen asti, joka suoritetaan 28 vuorokauden päästä.

Testaus päästiin suorittamaan koekappaleille 46 vuorokauden iässä, testauslaitteiston ollessa varattuna aikaisemmin. Kuormituskehään vaihdettiin puristuslujuustestaukseen sopivat kuormitustasot ja koekappaleet valmistettiin testaukseen merkitsemällä, siistimällä ja mittaamalla testattavan pinnan pinta-ala. Ensimmäistä puristuslujuustestausta suoritettaessa huomattiin, että kuormituskehän kapasiteetti ei riitä murtamaan koekappaletta, eli kuormitettava pinta-ala on liian iso. Testauskappaleiden kuormitettavaa pinta-alaa päätettiin pienentää, niin että kuutioiden nimellimitat ovat 40 mm*40 mm*40 mm. Pienennystyö suoritettiin sahaamalla kuutioiden kolmea sivua 10 mm lyhyemmäksi timanttisahalla. Uusille testauskappaleille suoritettiin samat esivalmistelut kuin aikaisemmillekin.

Standardin SFS-EN 12390-3 mukaan testattavaa kappaleeseen kohdistetaan alkukuormitus, joka on n. 30 % murtokuormasta, tämän jälkeen koekappaletta kuormitaan vakionopeudella 0.6 ± 0.2 MPa/s kunnes kuormaa ei voida enää lisätä.

/14, s. 5/.

Puristuslujuustestausta ei pystytty suorittamaan, kuten standardissa kuvaillaan, koska riittävän tarkkaa murtokuormaa ennen testiä ei ollut tiedossa. Suoritettussa testauksessa päätettiin koekappaleita kuormittaa vakiolla 1 mm/min nopeudella kunnes murto-

kuorma saavutettiin. Kappaleiden mitatusta murtokuormasta voidaan kuormituspinta-alan avulla laskea betonilaadun puristuslujuus, mutta koska kuormituskehän mittamista arvoista pystytään tulostamaan työraportti halutuilla arvoilla, valittiin raporttiin suurin murtovoima, siirtymä sekä betonin puristuslujuus. (liite 3). Liitteessä näkyvä suhteellinen puristuma on viitteellinen.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Taivutuslujuus

Pihalaatan taivutuslujuustestaus todisti oletukset siitä, että komposiittilaata sitkistää rakenneta reilusti. 3-pistetaivutustestaus osoitti, että murruttuaan pelkkä kuitubetonilaatta ei kanna enää kuormaa. Komposiittilaata sisältävä laatta rikkoutuu useamassa osassa; ensin murtuu betoni, tämän jälkeen komposiittilaata, mikä sallii moninkertaiset muodonmuutokset (Liite 4). Alla olevassa taulukossa on vertailtu laatoista mitattuja taivutuslujuuksia ja standardin vaatimia ominais- ja vähimmäistaivutuslujuuksia. ”Komposiittilaatta” kohdassa on ilmoitettu kuitubetonin murtumisarvo sekä koko laatan mitattu maksimitaivutuslujuus.

TAULUKKO 3. Taivutuslujuusarvot

SFS-EN 1339		Mitattu		
3/U	2/T	1	2	
[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	
5 (4)*	4 (3.2)*	5.2	6.3	Kuitubetonilaatta
		4.2 (5.4)**	2.7 (4.6)**	Komposiittilaatta

- * Vähimmäistaivutuslujuus
- ** Maksimi taivutuslujuus

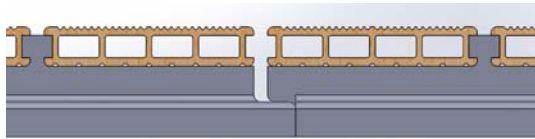
Testaustuloksista voidaan tulkita, että 50 mm paksulla kuitubetonilaatalla oli parempi taivutuslujuus kuin komposiittilaatalla. Pelkkä kuitubetonilaatta saavuttaisi luokan 3/U ja komposiittilaatta lähes luokan 2/T nykyisillä ainevahvuuksilla. Taivutuslu-

juustulokset ovat suuntaa-antavia näin pienillä koekappalemäärillä, joten tarkempaa analyysiä varten täytyisi valmistaa suurempi sarja.

Repäisytestaus

Testauksessa ei päästy itse repäisytestin suoritustasolle, vaan jo koekappaleita valmistettaessa huomattiin komposiittilaudan heikko kiinnittyminen betoniin. Lisäksi betonin ja laudan toisiinsa kiinnittymistä heikentää materiaalien eri lämpölaajenemiskertoimien johdosta pintojen väliin syntyvä leikkausvoima lämpötilan vaihdellessa. Tämän voiman suuruus on laskettu pituudeltaan 800 mm laatalle Mathcad- tulostuksessa (Liite 2). Leikkausvoima on laskettu estettynä lämpölaajenemisena, koska komposiittilauda on suurimmaksi osaksi betonin sisässä ja lauta on pohjastaan sekä kyljistään kiinnittynyt betoniin. Lämpölaajenemisesta syntyvä voima kulkee leikkauksena rakenteen rajapinnoilla.

Pihalaattaan alun perin suunniteltu asennusporras käytti hyödyksi laudan ja betonin porrastusta, jossa kuormitus johdettiin laudan kautta seuraavalle laatalle (kuva 7). Betonin ja komposiittilaudan heikon kiinnittymisen vuoksi ei ole järkevää viedä kuormia laudan kautta, vaan muotoilla betoniin itse porrastus (kuva 20).



KUVA 20. Laatan uusi liitos

Puristuslujuus

Kuitubetonissa käytetyn valmisbetonin S-100 lujuusluokka oli K 30, jolloin kuution muotoisen koekappaleen puristuslujuuden suuruus on n. 30 MPa. Puristuslujuustestauksessa huonoin mitattu puristuslujuuden arvo oli 48.4 MPa, kun taas paras oli 57.3 MPa (Liite 3). Puristuslujuustestauksessa koekappaleiden kuormitusnopeuden tulisi olla 0.6 ± 0.2 MPa/s, testaukset suoritettiin 1 mm/min nopeudella, mikä vastaa 0.4-0.65 MPa/s (Liite5). Koekappaleiden 1,2,4 yläpinnassa näkyy hiushalkeamia, mitkä johtuvat siitä, että kappaleiden ylä- ja alapinnat eivät ole olleet täysin yhdensuuntaisia, ja pintaan on syntynyt vetojännitystä. Saman betonilaadun kuitulujittamattoman versi-

on tarkkaa puristuslujuusarvoa ei testattu, mutta puristuslujuuden nousua voidaan pitää kuitulujituksen ansiona, koska betonin lujuus oli noussut useita lujuusluokkia korkeammalle.



KUVA 21. Puristuslujuuskappaleet

Olosuhdetestaus

Suolapakkaskokeen aikana testattavista kappaleista irronneen materiaalin keskiarvo tulee olla alle $1,0 \text{ kg/m}^2$; mistään koekappaleesta ei saa irrota materiaalia enempää kuin $1,5 \text{ kg/m}^2$. Koekappaleista irronneen materiaalin määrä ja massahävikki on taulukoitu alapuolelle (taulukko 4).

Koekappaleiden massahävikki lasketaan kaavasta 2

$$L = \frac{M}{A} \quad (2)$$

- M on 28 syklin aikana irronneen materiaalin kokonaismassa [kg]
- A on testattavan pinnan pinta-ala [A^2]

TAULUKKO 4. Massahävikki

	Kappale	M [kg]	L [kg/m^2]
Kuitubetoni	1	0,0006	0,03
	2	0,0002	0,01
	3	0,0006	0,03
Pihalaatta	1	0,0011	0,06
	2	0,0009	0,05
	3	0,0052	0,26

Tuloksista huomataan, että jokaisen koekappaleen massahäviö jää reilusti alle 1kg/m^2 . Kuitubetonisista koekappaleista irtosi materiaalia keskimäärin $0,5\text{ g}$ testattavalta alueelta, kun taas pihalaattaa vastaavasta rakenteesta irtosi keskimäärin $2,4\text{ g}$ testattavalta alueelta. Vaikka pihalaatassa on testattavalla alueella betonia vähemmän kuin kuitubetonikappaleessa siitä irtosi enemmän materiaalia. Komposiittilaudan vuoksi pihalaatan pintaan muodostuu uria ja epätasaisuutta, jolloin suolaliuos pääsee vaikuttamaan tehokkaammin ja betoni haurastuu sekä irtoaa syvemmältä kuin tasaisessa kuitubetonilaatassa (Kuva 22).

Olosuhdetestauksen näkyvät vaikutukset testauskappaleeseen nähdään Kuvasta 22; betonin pintakerros komposiittilaudan kummallakin puolella on irronnut. komposiittilaudassa ei ole nähtävissä pinnan muutoksia tai pinnalta irronneita partikkeleita. Olosuhdetestauksen jälkeen testauskappaleista poistettiin komposiittilauta kevyesti naputteleamalla ja tutkittiin onko betonin ja laudan välillä merkkejä kiinnittymisestä, joita olisivat mm. betonin tai laudan pinnan rikkoutuminen. Koekappaleesta voidaan todeta, että betonin sekä komposiittilaudan pinnat ovat täysin tasaiset, jolloin materiaalien välillä ei vaikuta niin suurta adheesiota, että se kantaisi leikkausvoimia. Lautaa vastustaa leikkautumista, mutta se johtuu veden imeytymisestä komposiittilautaan, joka puolestaan turpoaa hieman ja puristuu betonia vasten.



KUVA 22. Komposiittilaudan kiinnittyminen

9 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli saada testattua työn toimeksiantajan kehittämän laatan rakennetta sekä perehtyä aihetta koskeviin standardeihin. Betonikomposiittipihalaattaa testattiin taivutuslujuuden ja olosuhdetestauksen osalta mukaillen betonisia päällystelaattoja koskevaa standardia. Lisäksi laatussa käytetyn polypropeenikuidun vaikutuksia betonin lujuuteen tutkittiin puristuslujuustestauksella. Betonin ja komposiittilaudan kiinnittymistä toisiinsa haluttiin tarkastella repäisytestauksella.

Betonin puristuslujuustestaus osoitti, että testattujen kuitulujitettujen koekappaleiden puristuslujuus on kasvanut keskimäärin yli 70 % verrattuna käytetyn betonilaadun ilmoitettuun arvoon, joka oli 30 MPa. Tarkempiin vertailutuloksiin päästäisiin testamalla kuitubetonin ja pelkän betonin puristuslujuus sekä nostamalla näytteenottokoa suuremmaksi.

Betonin ja komposiittilaudan repäisyä ei suoritettu, koska koepaloja leikatessa komposiittilauta irtosi betonista helposti. Heikon kiinnittymisen vuoksi sekä betonin ja laudan välissä lämpölaajenemisen vuoksi vaikuttavaa leikkausvoimaa tutkittiin laskemalla sitä Mathcad.-ohjelmalla estettynä lämpölaajenemisena. Tulokseksi saatiin 31,7 kN:n leikkausvoima, joka on suuri verrattuna laudan heikkoon kiinnittymiseen. Näiden tuloksien varjolla voidaan olettaa, että pihalaattaa käytettäessä useita vuosia vaihtelevissa sääolosuhteissa, laatan jäähtyessä ja lämmitessä, komposiittilauta tulee irtamaan betonista ajan mittaan. Komposiittilaudan muodon puolesta se ankkuroituu tästäkin riippumatta betoniin kiinni kyljistään ja laatta toimii normaalisti käytössä.

Jatkokehitystä ja – tutkimuksia ajatellen komposiittilaudan kiinnittymistä voisi parantaa ankkuroimalla se betoniin esimerkiksi leikkausvoiman kestäväillä ruuveilla valuvaiheessa, jolloin betonin kovettuessa ruuvit estäisivät komposiittilaudan lämpölaajenemisen. Toinen vaihtoehto on hyväksyä eri lämpölaajenemiskertoimet ja pyrkiä siihen, että komposiittilauta on kiinni betonissa ainoastaan muotonsa ansiosta. Näin tehtäessä täytyy varmistaa, että laudan lämpölaajenemiselle ei ole esteitä rakenteessa. Jälkimmäistä vaihtoehtoa puoltaa omasta mielestäni se, että työ määrä valmistettaessa ei lisääny ja laattaan kohdistuu elinkaarensa aikana vähemmän rasituksia komposiittilaudan päästessä laajenemaan.

Opinnäytetyön tuloksena toimeksiantaja sai kehittämänsä betonikomposiittilaatan taivutuslujuudesta, käytetyn kuitubetonin puristuslujuudesta sekä laatan säänkestosta arvokasta tietoa. Mielestäni työn tavoitteen täytyivät, koska työn aihe rajattiin koskemaan betonipäälystelaattoja ja niitä koskevat standardit esitellään työssä. Laatta testattiin myös kyseisiä standardeja mukaillen. Tulevaisuudessa esimerkiksi halutessa kehittää CE-merkitty laatta, siihen vaadittavat vaatimukset sekä kyseisen laatan ominaisuudet ovat jo tiedossa. Itselleni työ toi paljon tietoa betonista, sen lujittamismenetelmistä, betonirakentamisesta ja sitä koskevista standardeista.

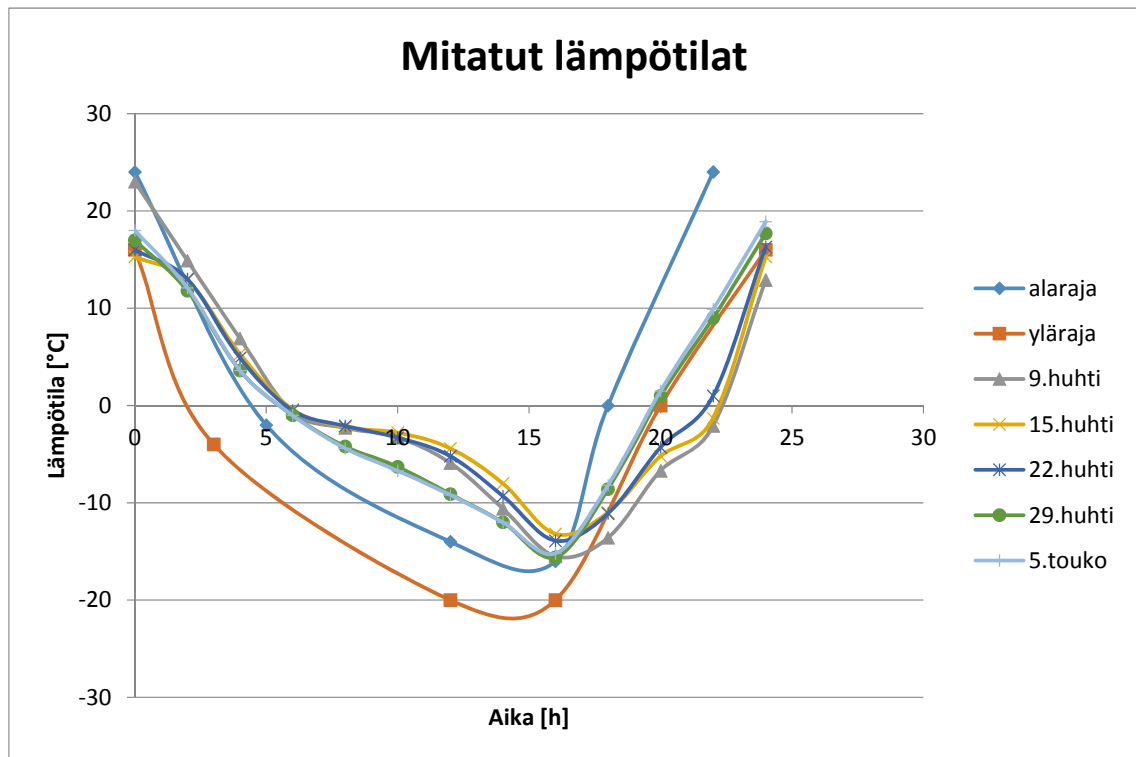
LÄHTEET

1. Saarela & ym. Komposiittirakenteet. Helsinki: Hakapaino Oy. 2003.
2. Siikanen. Rakennusaineoppi. Hämeenlinna: Karisto Oy. 2001
3. Finsementti 2015. Betonin lujuus. WWW-dokumentti.
<http://www.finsementti.fi/tietoa-betonista/tietoa-betonista-pienrakentajalle-ja-rautakauppiaille/betonin-lujuus>. Päivitystietoa ei saatavilla. Luettu 11.2.2015.
4. Myllymaa, Hannele & Vesterbacka, Pia 2005. Komposiitit. Helsingin yliopisto. Kemian laitos. WWW- dokumentti.
<http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/komposiitit/historiaa.htm>
Muokattu 17.3.2015. Luettu 17.3.2015.
5. Sandvik 2015. Coated cemented carbide. WWW- dokumentti-
http://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/materials/cutting_tool_materials/coated_cemented_carbide/pages/default.aspx#7
6. Rakentaja.fi 2015. Kuitubetonilla lisää lujuutta WWW- dokumentti.
http://www.rakentaja.fi/artikkelit/9060/kuitubetonilla_lisaa_lujuutta.htm Muokattu 19.3.2015. Luettu 19.3.2015.
7. SFS Ry 2015. Mitä standardisointi on?. WWW-dokumentti
http://www.sfs.fi/standardien_laadinta/mita_standardisointi_on. Päivitystietoa ei saatavilla. Luettu 12.2.2015.
8. SFS Ry 2015. SFS,EN, ISO ? WWW- dokumentti
http://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/standardi_tutuksi/sfs_en_iso
9. SFS-7017. 2014. Betonista tai luonnonkivestä tehdyille ulkotilojen päällystekiville, -laatoille ja reunakiville eri käyttökohteissa vaaditut ominaisuudet ja niille asetetut vaatimustasot. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu
10. SFS-EN 1339+AC. 2012. Betoniset päällystelaatat. Vaatimukset ja testausmenetelmät. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu
11. UPM Oy 2014. UPM Profi Deck technical FI. PDF- dokumentti. http://assets-upmprofi.upm.com/GLO_Brochures/UPM-ProFi-Deck-Technical-FI.pdf. Muokattu 5.3.2014. Luettu 12.2.2015.
12. Miktech Oy 2015. WWW- dokumentti. <http://www.miktech.fi>. Päivitystietoja ei saatavilla. Luettu 12.2.2015.
13. SFS-EN 12390-1. 2013 Testing hardened concrete. Part 1: Shape, dimensions and other requirements for specimens and moulds. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu.

14. SFS-EN 12390-3. 2013 Kovettuneen betonin testaus. Osa 3: Koekappaleen puristuslujuus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu.
15. Forta 2014. FERRO^R Brochure. PDF-dokumentti. <http://info.fortaf ferro.com/literature>. Muokattu: 25.6.2013. Luettu: 11.3.2015.
16. Ims.tut.fi 2005. Komposiitit. WWW-dokumentti. http://www.ims.tut.fi/vmv/2005/vmv_4_5_1.php. Muokattu: 20.4.2015. Luettu: 20.4.2015.

LIITE 1.
Olosuhdetestaus

Standardi				9.huhti	15.huhti	22.huhti	29.touko	5.touko	
alaraja		yläraja		mitattu					
aika [h]	lämpötila [°C]	aika [h]	lämpötila [°C]	aika [h]	lämpötila [°C]				
0	24	0	16	0	23	15,3	16	17	18
5	-2	3	-4	2	14,9	12,9	13	11,8	12,1
12	-14	12	-20	4	6,9	5,3	4,9	3,6	3,6
16	-16	16	-20	6	-0,7	-0,4	-0,5	-1	-1
18	0	20	0	8	-2,3	-2,2	-2,1	-4,2	-4,4
22	24	24	16	10	-3,3	-2,8	-3,3	-6,3	-6,7
				12	-5,9	-4,4	-5,2	-9,1	-9,2
				14	-10,6	-8	-9,3	-12	-12
				16	-15,5	-13,2	-13,9	-15,6	-15,2
				18	-13,6	-11	-11,1	-8,6	-8,2
				20	-6,7	-5,2	-4,3	1	1,5
				22	-2,1	-1,3	1	9	9,9
				24	12,9	15,3	16,3	17,7	18,9



LIITE 2. Leikkausjännitys

Leikkausvoima betonin ja komposiittilaudan välissä

$$\Delta T := 50 \quad L := 800 \quad \text{mm} \quad S := 150$$

Betoni

$$h_b := 50$$

$$E_b := 27 \cdot 10^3$$

$$\alpha_b := 1.2 \cdot 10^{-5}$$

Komposiittilauta

$$h_k := 28$$

$$E_k := 6.9 \cdot 10^3$$

$$\alpha_k := 4 \cdot 10^{-5}$$

Paksuus
mm

Kimmokerroin
MPa

Lämpölaajenemiskerroin
1/°C

$$\text{ORIGIN} := 1$$

$$\lambda_b := (L \cdot \alpha_b \cdot \Delta T) = 0.48$$

$$\lambda_k := (L \cdot \alpha_k \cdot \Delta T) = 1.6$$

lämpölaajeneminen
mm

$$F_b := \frac{\lambda_b \cdot (S \cdot h_b) \cdot E_b}{L} = 1.215 \times 10^5$$

$$F_k := \frac{\lambda_k \cdot (S \cdot h_k) \cdot E_k}{L} = 5.796 \times 10^4 \quad \mathbf{N}$$

$$F := \frac{F_b - F_k}{2} = 3.177 \times 10^4 \quad \mathbf{N}$$

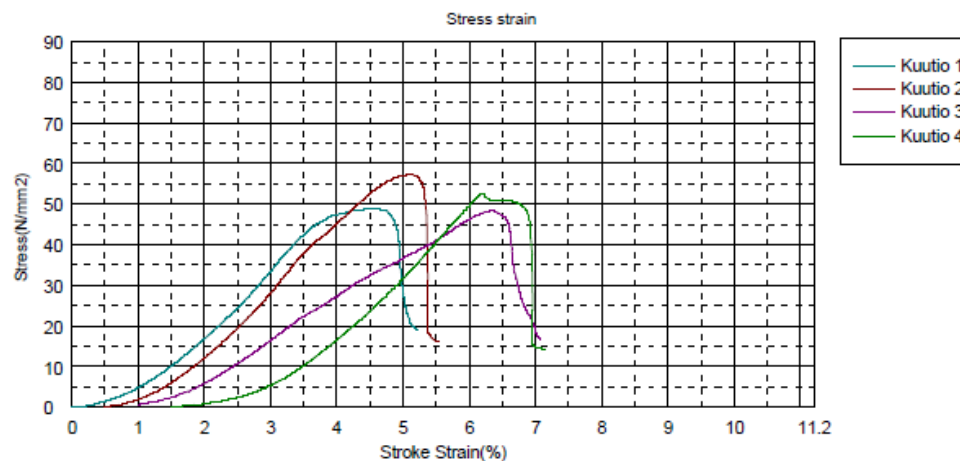
$$\sigma := \frac{F}{h_k \cdot S} = 7.564 \quad \mathbf{MPa}$$

Testaus Mikkelin ammattikorkeakoulu Hirel Oy

Date : 2015.04.24 Test Mode : Single
 Test Type : Comp. V1 : 1 mm/min
 Operator : Petri Tanninen
 Shape: Plate

	Thickness	Width	Height
Units	mm	mm	mm
Kuutio 1	41.4000	40.3000	40.9000
Kuutio 2	41.0000	39.9000	41.5000
Kuutio 3	41.3000	39.5000	40.3000
Kuutio 4	40.9000	40.3000	40.0000

Name	Max Force	Max Disp	Max Stress	Max Strain
Units	kN	mm	N/mm2	%
Kuutio 1	81.6750	1.84350	48.9535	4.50733
Mean	81.6750	1.84350	48.9535	4.50733
Standard Deviation	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Maximum	81.6750	1.84350	48.9535	4.50733
Minimum	81.6750	1.84350	48.9535	4.50733
Kuutio 2	93.7750	1.91350	57.3232	4.61084
Mean	93.7750	1.91350	57.3232	4.61084
Standard Deviation	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Maximum	93.7750	1.91350	57.3232	4.61084
Minimum	93.7750	1.91350	57.3232	4.61084
Kuutio 3	78.9500	2.15300	48.3955	5.34243
Mean	78.9500	2.15300	48.3955	5.34243
Standard Deviation	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Maximum	78.9500	2.15300	48.3955	5.34243
Minimum	78.9500	2.15300	48.3955	5.34243
Kuutio 4	86.7000	1.88250	52.6006	4.70625
Mean	86.7000	1.88250	52.6006	4.70625
Standard Deviation	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Maximum	86.7000	1.88250	52.6006	4.70625
Minimum	86.7000	1.88250	52.6006	4.70625
Total Mean	85.2750	1.94813	51.8182	4.79171
Total Standard Deviation	6.51271	0.13955	4.11657	0.37602
Total Maximum	93.7750	2.15300	57.3232	5.34243
Total Minimum	78.9500	1.84350	48.3955	4.50733



Comment
SFS-EN 12390-3

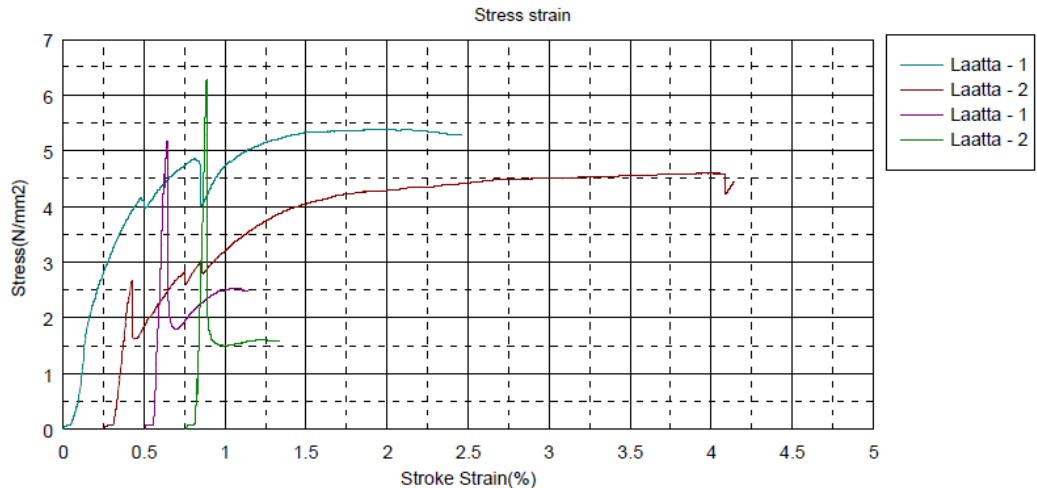
LIITE 4.
Taivutuslujuus

Hirel Oy

Date : 2015.04.24 **Test Mode :** Single
Test Type : 3 Point **V1 :** 5 mm/min
Operator : Petri Tanninen
Shape: Plate

	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
Laatta - 1	49.0000	492.0000	750.0000
Laatta - 2	52.0000	491.0000	750.0000
Laatta - 1	52.0000	474.0000	750.0000
Laatta - 2	50.0000	471.0000	750.0000

Name	Max Force	Max Disp	Max Stress	Max Strain	Time
Units	kN	mm	N/mm2	%	sec
Laatta - 1	5.65500	38.0445	5.38552	1.98846	456.534
Laatta - 2	5.43500	67.1280	4.60536	3.72337	805.536
Mean	5.54500	52.5863	4.99544	2.85592	631.035
Standard Deviation	0.15556	20.5651	0.55166	1.22677	246.782
Maximum	5.65500	67.1280	5.38552	3.72337	805.536
Minimum	5.43500	38.0445	4.60536	1.98846	456.534
Laatta - 1	5.90500	2.53800	5.18307	0.14077	30.4560
Laatta - 2	6.57000	2.62000	6.27707	0.13973	31.4400
Mean	6.23750	2.57900	5.73007	0.14025	30.9480
Standard Deviation	0.47023	0.05798	0.77357	0.00074	0.69579
Maximum	6.57000	2.62000	6.27707	0.14077	31.4400
Minimum	5.90500	2.53800	5.18307	0.13973	30.4560
Total Mean	5.89125	27.5826	5.36275	1.49808	330.992
Total Standard Deviation	0.49155	31.2178	0.69340	1.72045	374.614
Total Maximum	6.57000	67.1280	6.27707	3.72337	805.536
Total Minimum	5.43500	2.53800	4.60536	0.13973	30.4560



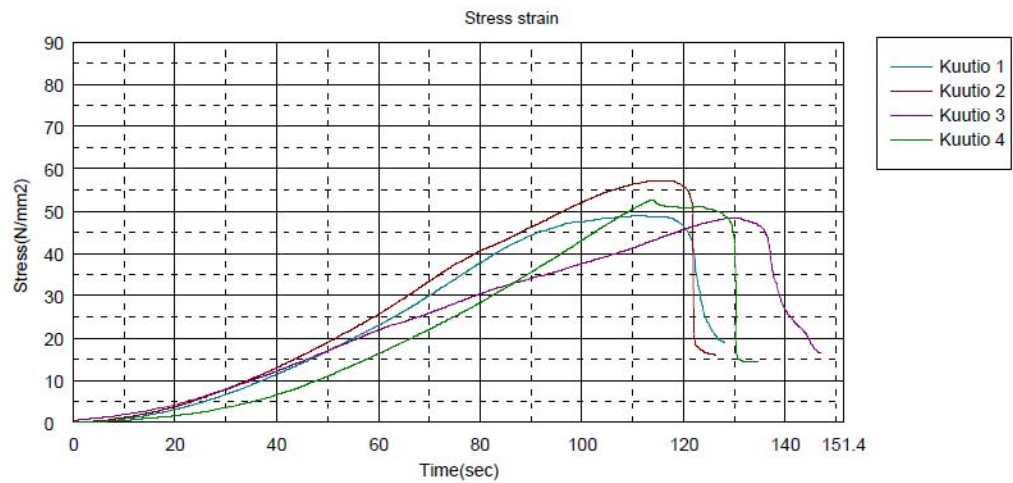
Comment
Mukaillen SFS-EN 1339

Puristuslujuustestauksen kuormitusnopeus

puristuslujuustestauksen kuormitusnopeus saadaan laskettua kaavasta:

$$x = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{t_2 - t_1} = \text{MPa/s}$$

Jännityksen ja ajan arvot on otettu kunkin koekappaleen parhaiten edustavalta kohtaa jännitys-aika diagrammista.



Comment
SFS-EN 12390-3

Kuutio 1

$$x = \frac{44 - 12}{90 - 40} = 0.64$$

Kuutio 2

$$x = \frac{53 - 14}{100 - 40} = 0.65$$

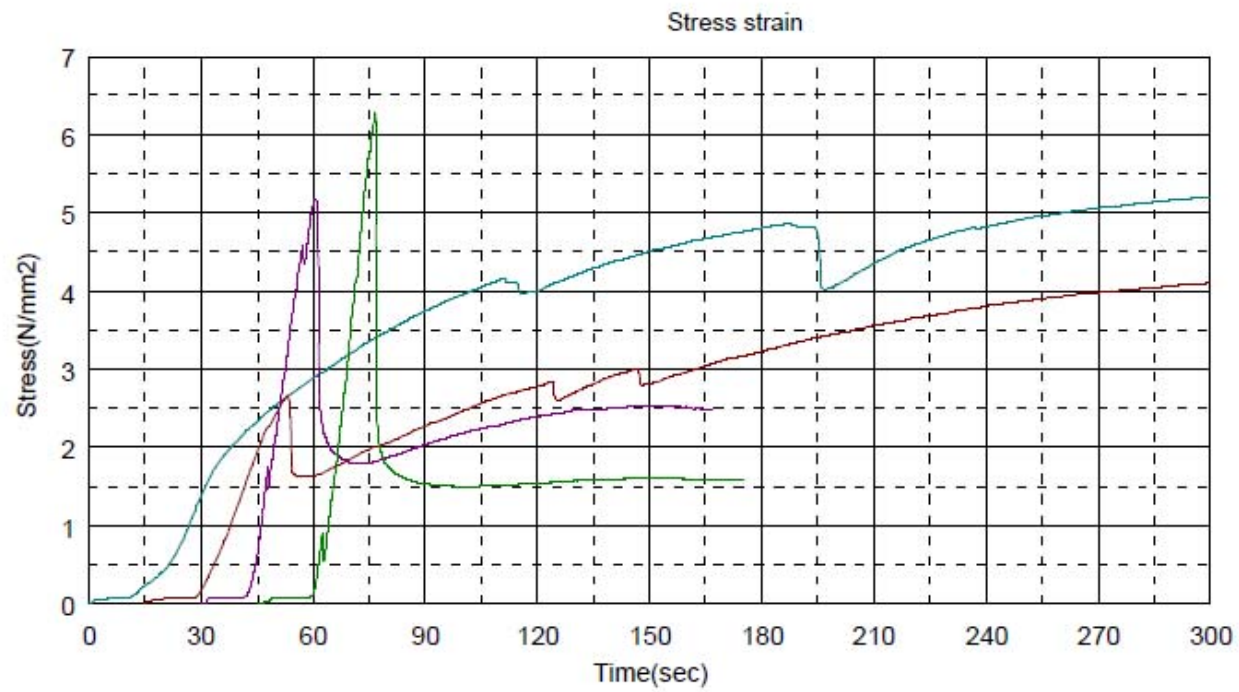
Kuutio 3

$$x = \frac{46 - 13}{120 - 40} = 0.41$$

Kuutio 4

$$x = \frac{50 - 7}{110 - 40} = 0.61$$

LIITE 6.
Taivutuslujuus aika



Comment
Mukaillen SFS-EN 1339