

Krista Isosomppi

Kevytbetonirakenteiden korjaaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

24.04.2014

Tekijä Otsikko	Krista Isosomppi Kevytbetonirakenteiden korjaaminen
Sivumäärä Aika	60 sivua + 3 liitettä 24.04.2014
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Rakennetekniikka
Ohjaajat	Lehtori Jouni Kalliomäki Senior Adviser Pekka Korhonen Projektipäällikkö Timo Oja
<p>Korjausrakentamisen tarve on lisääntynyt ja tulee lisääntymään merkittävästi lähivuosina Suomen rakennuskannan vanhetessa. Suomen rakennuskannasta valtaosa on jo 20-40 vuoden iässä, jonka takia tarvetta korjausrakentamiseen on jo pelkästään rakennusteknisen vanhenemisen perusteella. Eräs tällä hetkellä ongelmallinen rakennusmateriaali on höyrykarkaistu kevytbetoni, jonka toimivista korjausvaihtoehdoista ja vaurioiden ennaltaehkäisystä on heikosti saatavilla koottua sekä vertailevaa tietoa.</p> <p>Tämä insinöörityö tehtiin Vahanen Oy:lle korjausrakennesuunnittelun yksikköön. Työn tavoitteena oli tehdä yhtenäistävä ohjeistus höyrykarkaistujen kevytbetoniala- ja yläpohjarakenteiden kuntotutkimuksiin ja korjaussuunnitteluun. Työhön kerättiin yleisimpiä karkaistujen kevytbetoniala- ja yläpohjien vaurioita. Karkaistun kevytbetonin vaurioitumista verrattiin teräsbetonin vaurioihin. Vauriomekanismien perusteella teräsbetonin kuntotutkimus- ja korjausohjeita työstettiin karkaistulle kevytbetonille soveltuviksi.</p> <p>Insinöörityö toteutettiin pääosin kirjallisuustutkimuksena, jossa hyödynnettiin kirjallisuuslähteitä, Internetiä ja yrityksen raporttimalleja. Lähteinä käytettiin myös asiantuntijoiden kokemuksia ja ratkaisuja karkaistujen kevytbetonirakenteiden tutkimisesta ja korjaamisesta. Lisäksi insinöörityössä käytettiin DOF-LÄMPÖ 2.2 -ohjelmaa, jonka avulla pystyttiin tutkimaan massiivialapohjan lisäeristyksen vaikutuksia rakenteen lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan.</p> <p>Työn tulokseksi saatiin kattava ohjeistus, jota voidaan käyttää pohjana karkaistujen kevytbetoniala- ja yläpohjien kuntotutkimuksissa ja korjausvaihtoehtojen valinnassa. Työ sisältää myös selvityksen siitä, miten eri eristemateriaalit ja -paksuudet vaikuttavat 250 mm paksun massiivialapohjan kosteustekniseen toimivuuteen.</p> <p>Koska höyrykarkaistujen kevytbetonirakenteiden tutkimus- ja korjaustarve tulevat oletettavasti kasvamaan, antaa työ hyvän perustan karkaistujen kevytbetonirakenteiden korjaussuunnittelua tekeville kuntotutkijoille ja suunnittelijoille.</p>	
Avainsanat	höyrykarkaistu kevytbetoni, vaurio, kuntotutkimus, korjaustapa, lämmöneristys

Author Title	Krista Isosomppi Repair of Aerated Autoclaved Concrete Structures
Number of Pages Date	60 pages + 3 appendices 24 April 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Structural Engineering
Instructors	Jouni Kalliomäki, Senior Lecturer Pekka Korhonen, Senior Adviser Timo Oja, Project Manager
<p>The need for renovation has increased and will increase significantly in the next few years when the Finnish building stock continues aging. The majority of buildings in Finland are already at the age of 20-40, which means that the need for renovation is merely because of structural aging. At the moment one of the problematic building materials is aerated autoclaved concrete, the practical repair solutions and damage prevention of which there is poorly available assembled and comparative data.</p> <p>This final thesis was carried out for Vahanen Ltd.'s renovation unit. The aim of this study was to create a unifying guide for condition survey and repair planning of aerated autoclaved concrete structures. The most common damages of aerated autoclaved concrete roof and floor structures were collected to this thesis. The damages were compared to damages occurring in reinforced concrete. Instructions for condition surveys and repair methods of reinforced concrete were made suitable for aerated concrete based on failure mechanisms of aerated concrete.</p> <p>The thesis was completed mainly as a literature research by using literary sources, the Internet and the company's report templates. The study is also based on specialists' experiences in and solutions for of inspecting and repairing aerated autoclaved concrete structures. In addition, DOF-THERM 2.2 program that allowed studying how external extra insulation will affect the thermal and moisture behaviour of massive floor structures was used in this thesis.</p> <p>As a result, comprehensive instructions that can be used as a basis for condition surveys and selecting repair solutions of roof and floor structures made by aerated autoclaved concrete were obtained. The study also includes a research on how various insulation materials and thicknesses affect a 250 mm thick massive floor structure's moisture behaviour.</p> <p>Since the need for surveying and repairing of aerated autoclaved concrete structures will presumably grow, this study provides a good basis for condition controllers and designers.</p>	
Keywords	aerated autoclaved concrete, damage, condition survey, repair method, thermal insulation

Sisällys

Sanasto

1	Johdanto	1
2	Yleistä kevytbetonirakenteista	2
2.1	Kevytbetonirakenteiden historiaa Suomessa	3
2.2	Tyypillisimmät rakenneratkaisut	4
2.2.1	Yläpohjarakenteet	4
2.2.2	Alapohjarakenteet	6
3	Kevytbetonirakenteissa esiintyviä vauriomekanismeja	7
3.1	Raudotteiden korroosio	8
3.2	Kevytbetonin rapautuminen	10
3.3	Kevytbetonin halkeilu ja muodonmuutokset	14
3.4	Kiinnikkeiden ja kannakkeiden vauriot	15
3.5	Pintakäsittelyiden vauriot	15
4	Kevytbetonirakenteiden korjaustarpeen arviointi	17
4.1	Kuntoarvio	17
4.2	Kuntotutkimus	17
4.3	Tekninen käyttöikä	20
5	Kevytbetonirakenteiden kunnan tutkiminen	21
5.1	Tutkimuksissa huomioitavat asiat ja tutkimusmenetelmät	21
5.1.1	Raudotteiden korroosion tutkiminen	22
5.1.2	Kevytbetonin rapautumisen tutkiminen	25
5.1.3	Halkeilun ja muodonmuutosten tutkiminen	26
5.1.4	Kiinnikkeiden ja kannakkeiden tutkiminen	26
5.1.5	Pintakäsittelyiden tutkiminen	27
5.2	Esimerkkikohde	27
6	Kevytbetonirakenteiden korjaustavat	32
6.1	Säilyttävä korjaus	34
6.1.1	Terästen kunnostus	34
6.1.2	Laastipaikkaus	36
6.1.3	Pinnoitus	38

6.1.4	Halkeamien injektointi	39
6.2	Muuttava korjaus	39
6.2.1	Rakenteen pinnan verhoilu	39
6.2.2	Rakenteen tuenta ja vahvistaminen	40
6.3	Rakenteen uusiminen	44
7	Lisälämmöneristäminen	45
7.1	Lisälämmöneristeen vaikutus kosteustekniseen toimintaan	45
7.2	Sisäpuolelta eristäminen	47
7.3	Ulkopuolelta eristäminen	49
8	Muita kevytbetonirakenteiden korjaamisessa huomioitavia asioita	52
9	Tulokset	53
10	Yhteenveto	55
	Lähteet	57
	Liitteet	
	Liite 1. Tyypillisimmät yläpohjarakenteet	
	Liite 2. Tyypillisimmät alapohjarakenteet	
	Liite 3. DOF-LÄMPÖ 2.2 -ohjelmalla saadut tulokset	

Sanasto

Diffuusio	Kosteuden liikkumista vesihöyrynä rakenteen läpi.
Diffuusiovastus	Ilmaisee rakenteen kykyä vastustaa diffuusiota.
Karbonatisoituminen	Neutraloitumisreaktiot, joiden seurauksena huokosveden pH alenee. Reaktiot aiheutuvat ilman hiilidioksidin kulkeutumisesta rakenteen huokosiin.
Kastepiste	Lämpötila, jossa ilmassa oleva vesihöyry tiivistyy vedeksi eli kondensoituu.
Kloridiprofiili	Kertoo karkaistun kevytbetonin kloridipitoisuudet eri syvyyksillä.
Kosteuskonvektio	Ilmavirtausten mukana tapahtuva vesihöyryn siirtyminen rakenteeseen.
Kriittinen kosteus	Kosteuspitoisuuden yläraja, jossa materiaali toimii tyydyttävästi pidempiäkin aikoja. Se ilmaistaan suhteellisena kosteutena RH_{kr} .
Kuntotutkimusraportti	Tekninen asiakirja, jossa esitetään kuntotutkimuksessa selvitettyt asiat ja tulokset sekä niiden perusteella tehdyt päätelmät.
Lämmönvastus	Ilmaisee rakenteen suhteellista kykyä vastustaa lämmönvirtausta.
Suhteellinen kosteus	Tarkoittaa ilmaan sitoutuneen kosteuden suhdetta enimmäisarvoon, jonka ilma voisi kyseisessä lämpötilassa sitoa kosteutta.
Titraus	Menetelmä, jonka avulla voidaan määrittää kloridien pitoisuus näytteessä.

1 Johdanto

Tämä insinööri työ tehdään Vahanen Oy:lle korjausrakennesuunnittelun yksikköön. Vahanen Oy on kansainvälinen suunnitteluyritys, joka tuottaa rakentamisen asiantuntijapalveluja koko rakennuksen elinkaaren ajalle. Rakennesuunnittelun osalta Vahanen Oy tarjoaa sekä uudis- että korjausrakennesuunnittelupalveluita. Korjausrakennesuunnittelusta Vahanen Oy:llä on jo yli 50 vuoden kokemus. Rakennesuunnittelupalveluihin sisältyy myös rakennusfysikaalinen suunnittelu, jonka tehtävänä on varmistaa rakenteiden toimivan kokonaisuuden muodostaminen. [1.]

Korjausrakentamisen tarve on lisääntynyt ja tulee lisääntymään merkittävästi lähivuosina Suomen rakennuskannan vanhetessa. Vuosina 1940-1969 rakennetun rakennuskannan osuus koko Suomen rakennusten kerrosalasta on 24 %. Rakentamisen huippuvuosina 1979-1989 rakennettu rakennuskanta edustaa 40 % kerrosalasta. Ennen vuotta 1940 rakennetut rakennukset edustavat 9 % ja vuoden 1990 jälkeinen rakennuskanta 28 % rakennuskannan kerrosalasta. Näin ollen Suomen rakennuskannasta valtaosa on jo 20-40 vuoden iässä, jonka takia tarvetta korjausrakentamiseen on jo pelkästään rakennusteknisen vanhenemisen perusteella. Täten voidaan sanoa, että suurin osa rakennuskannasta on tullut korjausikänsä. [2.], [3.]

Eräs tällä hetkellä ongelmallinen rakennusmateriaali on pula-ajan myötä käyttöön tullut höyrykarkaistu kevytbetoni, jota on käytetty rakennuksissa 1930-luvulta lähtien. Ongelmat johtuvat siitä, että karkaistun kevytbetonin heikkoihin ominaisuuksiin ei ole kiinnitetty riittävästi huomiota. Esimerkiksi rakennusten käyttötarkoituksen muuttamisen yhteydessä ei paneuduttu tarpeeksi rakenteiden rasitusolosuhteiden muutoksiin. Näin ollen rakenteiden toimivuutta ei varmistettu riittävän hyvin, minkä takia rakenteisiin syntyy mahdollinen vaurioitumisriski. [4, s. D1-D2], [5.]

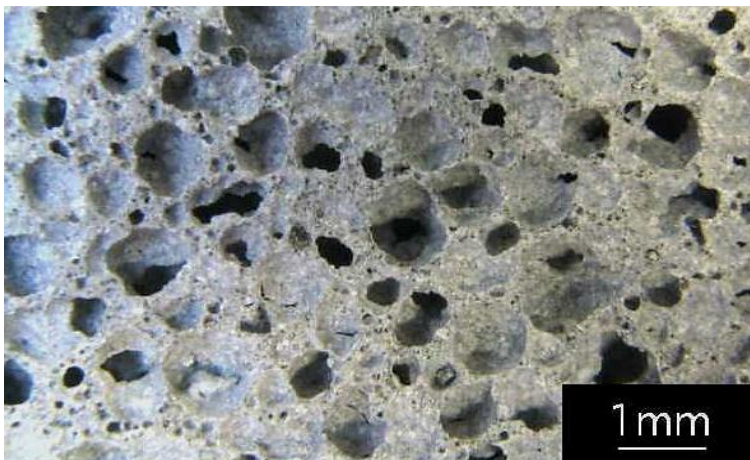
Karkaistujen kevytbetonirakenteiden toimivista korjausvaihtoehdoista ja vaurioiden ennaltaehkäisystä on heikosti saatavilla koottua sekä vertailevaa tietoa. Työssä käytetään asiantuntijoiden kokemuksia ja ratkaisuja karkaistujen kevytbetonirakenteiden tutkimisesta ja korjaamisesta sekä teoreettisia rakennusfysikaalisia tuloksia ja kirjallisuudesta sekä internetistä löytyvää tietoa. Työssä myös tutkitaan eri eristemateriaalien ja -paksuuksien vaikutusta yksinkertaisen alapuolelta lisälämmöneristetyn karkaistun kevytbetonialapohjan kosteustekniseen toimintaan DOF-LÄMPÖ 2.2 -ohjelman avulla.

Insinööriyön tavoitteena on tehdä yhtenäistä ohjeistusta höyrykarkaistusta kevytbetonista rakennettujen ylä- ja alapohjien kuntotutkimuksiin ja korjaussuunnitteluun. Ohjeistuksen tarkoituksena on tuoda esiin vertailevaa tietoa kevytbetonin ja teräsbetonin vauriomekanismeista ja kuntotutkimusten suorittamisesta. Saadun tiedon pohjalta on pyrkimyksenä löytää toimivia korjausvaihtoehtoja sekä vaurioitumista ehkäiseviä toimenpiteitä karkaistuille kevytbetonirakenteille rakenteiden käyttöiän pidentämiseksi. Insinööriyö tulee toimimaan yhtenä työohjeena Vahanen Oy:ssä karkaistujen kevytbetonirakenteiden korjaussuunnittelua tekeville suunnittelijoille ja kuntotutkijoille.

2 Yleistä kevytbetonirakenteista

Höyrykarkaistu kevytbetoni kehitettiin 1930-luvun alussa ruotsalaisen Ivar Eklundin ja suomalaisen Lennart Forsénin toimesta. Höyrykarkaisussa kevytbetoniin lisätään alumiinijauhetta, joka reagoi kevytbetonimassan kanssa. Kemiallisessa reaktiossa massaan muodostuu vetykuplia, joiden ansiosta massa huokoistuu. Tämän jälkeen kevytbetoni siirretään kalkkihiekkatiilien valmistukseen tarkoitettuun painekattilaan, autoklaaviin. Höyrykarkaisu tapahtuu noin 180 °C:n lämpötilassa, missä vetykaasu poistuu kevytbetonimassasta jättäen massasta huokoisen. [6, s. 124.], [7, s. 265.]

Kantavissa rakenteissa käytettävä kevytbetoni on höyrykarkaistua. Höyrykarkaisun ansiosta kevytbetoni saa paremmat lujuusominaisuudet sekä sen viruma- ja kuivumiskutistuma-arvot ovat vähäisemmät kuin höyrykarkaisemattomalla kevytbetonilla. [6, s. 124.]



Kuva 1. Höyrykarkaistun kevytbetonin huokosrakenne [8.]

Höyrykarkaistu kevytbetoni sisältää paljon erikokoisia huokoisia, joista suurimmat ovat silmämääräisesti nähtävissä. Kuvasta 1 voidaan havaita karkaistun kevytbetonin huokoinen rakenne. Huokosrakenteen isoimmat huokokset ovat halkaisijaltaan jopa 1,5 mm:n kokoisia, mikä mahdollistaa kaasujen ja kosteuden helpon kulkeutumisen materiaaliin. [9.]

2.1 Kevytbetonirakenteiden historiaa Suomessa

Höyrykarkaistua kevytbetonia on käytetty asuinrakennusten rungon ja ulkovaipan rakennusmateriaalina jo 1930-luvulta lähtien. Pientalojen ala-, väli- ja yläpohjarakenteina raudoitettuja karkaistuja kevytbetonielementtejä on käytetty jo vähintään 50 vuoden ajan. Ensimmäisen kerran höyrykarkaistua kevytbetonia hyödynnettiin vuonna 1936 Malmin lentokenttärakennuksen keskusosan seinien lämmöneristeenä. [4, s. D1-D2.], [10, s. 30.]

Pula-ajalla tiilien puute kiihdytti tehdasvalmistetun karkaistun kevytbetonin käyttöä ulkoseinissä. 1940- ja 1950-luvuilla höyrykarkaistua kevytbetonia käytettiin jo yleisesti ulkoseinärakenteissa. Helsinkiin rakennettiin jopa 1940-luvun lopulla kokonaan höyrykarkaistusta kevytbetonista valmistettuja kerrostaloja. 1950- ja 1960-lukujen taitteessa suunniteltiin ensimmäiset tyyppitalot. Massiivisten karkaistujen kevytbetonielementtien käyttö yleistyi 1960-luvulla asuinrakennusten yläpohjarakenteissa. Näillä elementeillä pystyttiin ylittämään tavallisissa asuinrakennuksissa esiintyvät jännevälit. Suurin karkaistuilla kevytbetonielementeillä saavutettu jänneväli oli 7,5 metriä. [4, s. D1-D2.], [11, s. 129, 153.]



Kuva 2. Höyrykarkaistusta kevytbetonista rakennettu pientalo [4, s. D1].

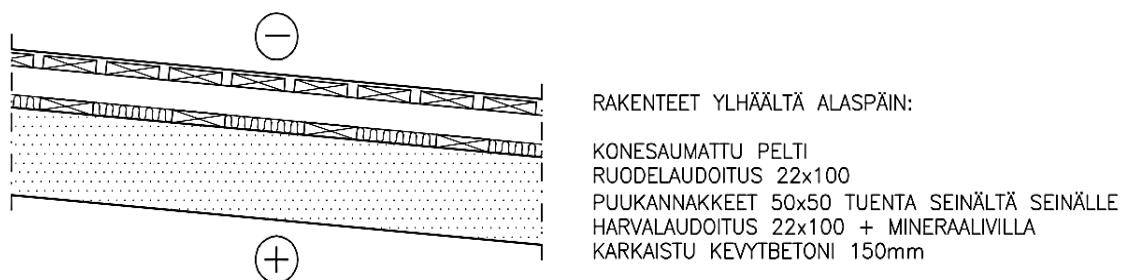
Omakoti- ja rivitalorakentamisessa alettiin käyttää pystysuuntaisia karkaistuja kevytbetonielementtejä kevytbetoniharkkojen rinnalla 1960- ja 1970-luvuilla. 1960- ja 1970-lukujen aikana tehtiin paljon tasakattoja, jotka olivat yksinkertaisimmillaan 300 mm paksuja karkaistusta kevytbetonista rakennettuja massiivikattoja. 1970-luvun alussa kehitettiin nykyäänkin käytössä oleva rakennusjärjestelmä, jonka tavoitteena oli luoda yhtenäinen detaljiikka karkaistuille kevytbetonirakennuksille. Kuva 2 esittää rakenteilla olevaa höyrykarkaistusta kevytbetonista rakennettua pientaloa. [4, s. D1-D2.], [11, s. 129, 153.]

2.2 Tyypillisimmät rakenneratkaisut

Tässä luvussa esitellään tyypillisimpiä aiemmin ja nykyään käytettyjä karkaistusta kevytbetonista tehtyjä ylä- ja alapohjarakenteita.

2.2.1 Yläpohjarakenteet

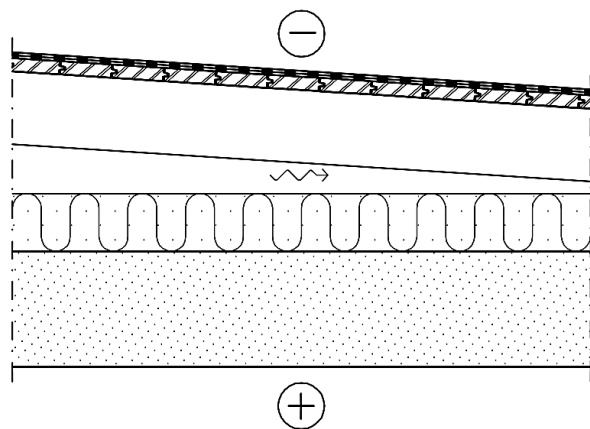
Aikaisemmin yläpohjarakenteina käytettiin eri katemateriaalin omaavia massiivikattoja, koska karkaistu kevytbetoni toimi sekä kantavana rakenteena että lämmöneristeenä. Massiivikatot saattoivat olla joko kaltevia tai suoria riippuen katemateriaalista. Kuvassa 3 on esitetty vuonna 1963 rakennetun rivitalon yläpohjarakenne. Kuvassa mainittujen puukannakkeiden tuenta seinästä seinälle on oletettavasti virheellistä tietoa, koska kantavana rakenteena toimivat karkaistut kevytbetonilankut eivätkä pienet puukannakkeet. [4, s. A2.], [12, s. 126.]



Kuva 3. Vanha kalteva yläpohjarakenne [13].

Kuvassa 4 on esitetty vuonna 1983 valmistuneen omakotitalon yläpohjarakenne, joka on muutettu vuonna 1989 tasakatosta loivaksi aumakatoksi. Kyseisessä rakenteessa

on karkaistun kevytbetoniyläpohjan päälle asennettu puhallusvillaa ja katemateriaaliksi paloista tehty bitumihuopakate.



RAKENTEET YLHÄÄLTÄ ALASPÄIN:

2-KERTAINEN BITUMIHUOPAKATE
 RAAKAPONTTILAUTA 23x95
 KATTOKANNATTAJAT 50x200 k1200
 TUULETUSTILA
 PUHALLUSVUORIVILLA 150 mm
 KARKAISTU KEVYTBETONI –LANKUT 250mm

Kuva 4. Vanha yläpuolelta tuuletettu yläpohjarakenne.

Nykyään tavallisesti käytettyjä karkaistusta kevytbetonista rakennettuja yläpohjaratkaisuja ovat yläpuolelta lisäeristetty tuulettumaton massiivikatto, yläpuolelta tuuletettu suora yläpohja ja kalteva yläpohja matalalla tuuletusraolla [4, s. D1].

Massiivikaton lämmöneristyskykyä on lisätty asentamalla karkaistujen kevytbetonielementtien yläpuolelle lisälämmöneriste. Lisälämmöneristeenä on käytetty joko jäykkää mineraalivillaa tai alumiinipintaista polyuretaanieristelevyä. Eristeen ja elementin välissä on käytetty höyrynsulkua rakennekosteuden tiivistymisen estämiseksi lisäeristeisiin. Elementin alapintaan on käsitelty hengittävällä pinnoitteella. Kyseinen rakenne on esitetty liitteen 1 kuvassa 1.1. [4, s. D1.]

Suoran yläpohjarakenteen päälle on asennettu puurakenteiden kattoristikko ja lisälämmöneristeet. Yläpuolinen tuuletustila mahdollistaa höyryä läpäisevien tai tiiviiden alapuolen pinnoitteiden käytön normaaleissa asuintiloissa. Liitteessä 1 on esimerkki rakenneratkaisusta (Kuva 1.2). [4, s. D1.]

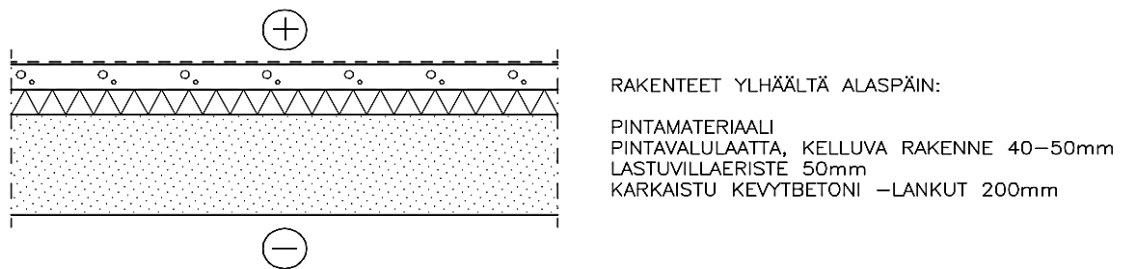
Kaltevassa yläpohjarakenteessa karkaistun kevytbetonielementtien päälle on asennettu kattotuolit, jotka on yleensä tuettu tasakorkuisten karkaistujen kevytbetonipalojen varaan. Näin on mahdollistettu korkea tila lisälämmöneristeille ja tuuletukselle. Matalan tuuletustilan takia on huolehdittava riittävästä ilmankierrosta. Rakennusaikaisen kosteuden poistumista on säädelty elementtien ja eristeen väliin asennettavalla vesihöyryä

läpäisevällä sitkeällä rakennuspaperilla. Liitteessä 1 on esitetty kaksi ratkaisua edellä mainitulle rakenteelle. [4, s. D1.]

2.2.2 Alapohjarakenteet

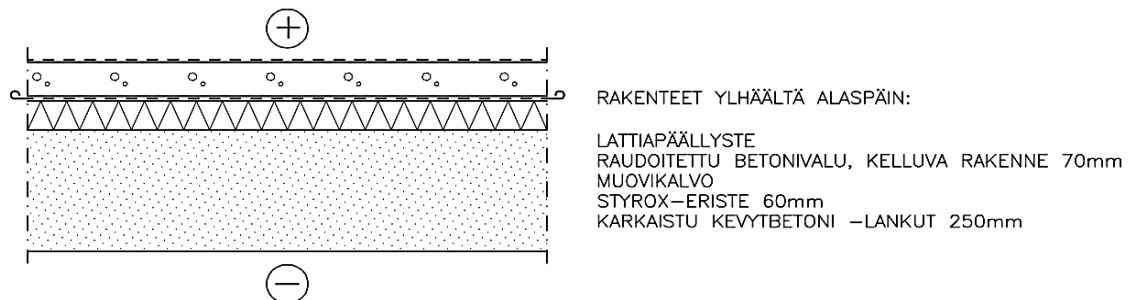
Aiemmin alapohjarakenteina käytettiin karkaistuja massiivikevytbetonilaattoja ja kelluvalla rakenteella varustettuja karkaistuja kevytbetonilaattoja. Pintavalun ja karkaistun kevytbetonilaatan välissä käytettiin kovaa eristettä, kuten lastuvillaa tai polystyreeniä. Alapohjaratkaisut olivat suurimmaksi osaksi ryömintätällaisia, jolloin alapohjarakenteen alapuolella oli tuuletustila.

Kuvassa 5 on esitetty vuonna 1963 valmistuneen rivitalon tuulettuva alapohjarakenne. Alapohjarakenteen lämmöneriste on sijoitettu pintavalulaatan ja karkaistun kevytbetonielementin väliin. Lämmöneristeenä on käytetty lastuvillaa.



Kuva 5. Vanha tuulettuva alapohjarakenne [13].

Kuvassa 6 on esitetty vuonna 1983 rakennetun omakotitalon tuulettuva alapohjarakenne. Rakenteen betonivalun ja karkaistun kevytbetonielementin väliin on asennettu muovikalvo ja polystyreeni-eriste.



Kuva 6. Vanha tuulettuva alapohjarakenne.

Nykyään käytössä olevat karkaistusta kevytbetonista rakennetut alapohjarakenteet ovat yläpuolelta lämmöneristetty alapohja lattiapäällysteellä, yläpuolelta eristetty alapohja pintabetonivalulla ja alapuolelta eristetty alapohja pintabetonivalulla. Alapohjarakenteet tehdään ryömintätaluisina, jolloin kosteus pääsee haihtumaan tehokkaammin rakenteesta ja vältetään kosteuden kapillaarista nousua rakenteisiin. [4, s. G14.]

Yläpuolelta lämmöneristetty karkaistu kevytbetonialapohja voidaan toteuttaa siten, että eristeen päälle asennetaan kevyt lattiarakenne. Kevyt lattiarakenne voi koostua eristeen päälle asennetusta rakennusmuovista, pontatusta lastulevystä ja lattiapäällysteestä, kuten parketista tai muovimatosta. Rakennusmuovin tehtävänä on estää säteilyaltistusta aiheuttavan radon-kaasun tunkeutuminen sisälle rakennukseen. [4, s. G14, D40.]

Yläpuolelta eristetty alapohjarakenne voidaan myös toteuttaa kelluvalla lattiarakenteella, missä eristeen päälle valetaan pintabetonilaatta. Kelluvan lattiarakenteen alla on suotavaa käyttää kosteutta kestävä ja painumatonta eristemateriaalia, kuten polyuretaania tai polystyreeniä. Liitteessä 2 on havainnollistettu molemmat edellä mainitut rakenteet. [4, s. G14.]

Alapuolelta lämmöneristetyssä alapohjassa lämmöneristeenä on käytetty mineraalivillaa, joka päästää rakenteen luovuttamaa kosteutta lävitseen. Liitteessä 2 on havainnollistettu alapuolelta lämmöneristetty alapohjarakenne. [4, s. G14.]

3 Kevytbetonirakenteissa esiintyviä vauriomekanismeja

Tässä luvussa käsitellään kevytbetonirakenteiden vaurioita ja niiden eroavaisuuksia teräsbetonissa esiintyviin vaurioihin.

Karkaistua kevytbetonia vahingoittavat lähes samat aineet, kuten hapot ja kaasut, kuin tavallista betoniakin. Karkaistun kevytbetonin ja betonin raaka-aineet eivät niinkään eroa toisistaan. Niiden kemiallinen rakenne kuitenkin poikkeaa toisistaan johtuen karkaistun kevytbetonin rakennusaineiden hienorakeisuudesta ja autoklaavikäsittelystä, jossa hienoksi jauhetut aineet reagoivat toistensa kanssa synnyttäen kalsiumsilikaattihdisteitä. [6, s. 126-127.]

Höyrykarkaistun kevytbetonin suurin vaurioiden aiheuttaja on kosteus, joka kulkeutuu rakenteisiin kapillaarisesti sekä diffuusion ja kosteuskonvektion avulla. Rakenteiden kosteusvaurioriski on suurimmillaan kylmänä vuodenaikana, kun kosteaa sisäilmaa virtaa rakenteisiin ja ilman sisältämä kosteus alkaa kondensoitua rakenteiden sisään. Useimmiten ongelma syntyy yläpohjarakenteisiin, koska painesuhteet rakennuksessa ovat usein siten, että rakennuksen yläosa on ylipaineinen. Tällöin ilma virtaa korkeammasta matalampaan paineeseen, jolloin paine-erot pyrkivät tasoittumaan. [14.]

Ongelmallisin tilanne kuitenkin syntyy, jos rakenteen sisäpuolelta pääsee diffuusiolla vesihöyryä rakenteen sisään kuin rakenne pystyy luovuttamaan. Näin ollen kylmänä vuodenaikana rakenteeseen voi tiivistyä kosteutta haitallinen määrä. Useimmiten diffuusio kulkee sisältä ulospäin, koska sisäilma sisältää enemmän kosteutta kuin ulkoilma. Lämpötilaero ei kuitenkaan määrää diffuusion suuntaa, vaan esimerkiksi alapohjarakenteisiin kosteus voi kulkeutua kylmemmästä lämpimämpään. [14.]

Kriittisin ajankohta kosteuden tiivistymiselle tuulettuvaan alapohjarakenteeseen on kuitenkin kesällä, jolloin ulkoilma sisältää suuren määrän kosteutta ja ryömintätilan lämpötila on alhaisempi kuin ulkoilman lämpötila. Näin ollen ryömintätilan kylmiin pintoihin, kuten alapohjarakenteen alapintaan, tiivistyy kosteutta lähes riippumatta ryömintätilaisen alapohjan tuuletuksesta. Erityisen ongelmallinen tilanne on kesällä pitkään jatkuva sateinen lämmin jakso, jolloin kosteuden tiivistymistä tuulettuvan alapohjan alapintaan ei voida välttää. [15.]

3.1 Raudoitteiden korroosio

Höyrykarkaistussa kevytbetonissa raudoituksena on käytetty pääsääntöisesti kuumatai kylmämuokattua pyöröterästä. Raudoitteina on voitu myös käyttää harjaterästä tai ruostumatonta terästä. Karkaistu kevytbetoni on pH:ltaan 9...10 eli heikosti emäksinen materiaali. Tästä johtuen rakenteen sisällä olevien raudoitusten pinnalle syntyy ohuempi suojaava oksidikalvo kuin teräsbetonissa, jonka takia materiaalissa olevat teräkset ovat herkempiä ruostumiselle. Myös karkaistun kevytbetonin huokoisen rakenteen takia kaasut ja kosteus pääsevät kulkeutumaan epäjalojen metallien ympärille aiheuttaen korroosioriskin. [6, s. 127.], [9.]

Huokoisen rakenteen takia kaasut, etenkin hiilidioksidi CO_2 , pystyvät tunkeutumaan helpommin höyrykarkaistun kevytbetonin kuin tavallisen betonin huokosiin. Näin ollen karkaistun kevytbetonin karbonatisoituminen pystyy ulottumaan syvemmälle lyhyemmässä ajassa. Tästä johtuen karbonatisoitumisvyöhyke saavuttaa karkaistussa kevytbetonissa olevat teräkset nopeasti altistuttaen ne korroosiolle. Karkaistun kevytbetonin korkea kosteuspitoisuus voi kuitenkin vaikuttaa karbonatisoitumiseen hidastavasti, koska hiilidioksidin tunkeutuminen vähenee, jos huokokset ovat täyttyneet vedellä. Karbonatisoitumisesta johtuvat vauriot ovat kuitenkin erittäin harvinaisia karkaistulle kevytbetonille. [4, s. A5.], [16, s. 23.], [17, s. 18.]

Myös kosteat olosuhteet altistavat raudoituksen korroosiolle. Terästen ruostumisvaara on suurimmillaan karkaistun kevytbetonin kosteuden ollessa pitkäaikaisesti 10...20 painoprosenttia. Kosteudesta johtuen terästen poikkipinta-ala suurenee aiheuttaen jännityksiä karkaistuun kevytbetoniin. Terästen korroosiotuotteiden eli ruosteen lisääntyminen lopulta syrjäyttää materiaalia aiheuttaen ensin halkeamia ja pitkälle edetessään karkaistun kevytbetonin lohkeamisen. Erittäin märässä materiaalissa vesi ilmeisesti estää vapaan veden liikkumista estäen tai hidastaen terästen ruostumista, jolloin halkeamien ja lohkeamien syntyminen vähenee. Kuvassa 7 on esitetty teräksen korroosion aiheuttama kevytbetonin lohkeaminen. [13.], [17, s. 24.]



Kuva 7. Teräskorroosion aiheuttama alapohjalaatan alapinnan lohkeaminen [13].

Höyrykarkaistujen kevytbetonialapohjien alapinnan raudoituksen korroosiovauriot aiheuttavat alapinnan halkeilua ja lohkeilua. Pitkälle edetessään terästen vaurioituminen aiheuttaa rakenteen kantavuuden heikkenemisen. Kuvassa 8 on esitetty pitkälle eden-

nyttä karkaistun kevytbetonialapohjarakenteen alapinnan raudoituksen vaurioituminen, missä rakenteen kantavuus on miltei hävinnyt kokonaan. [18, s. 23.], [19.]



Kuva 8. Alapohjalaatan alapinnan terästen pitkälle edennyt vaurioituminen [13].

Huokoisuutensa takia karkaistu kevytbetoni altistuu aggressiivisille aineille kuten hapoille ja klorideille helpommin kuin tiivis teräsbetoni, minkä takia nämä aineet pääsevät nopeammin kosketuksiin raudoituksen kanssa. Varsinkin kloridit kulkeutuvat höyrykarkaistuun kevytbetoniin helposti veden mukana, koska karkaistu kevytbetoni pystyy absorboimaan paljon vettä itseensä löyhän huokosrakenteensa takia. Teräsbetonia (pH 13...14) vähemmän emäksinen höyrykarkaistu kevytbetoni reagoi näin ollen kloridien kanssa herkemmin ja altistaa teräkset kloridikorroosiolle. [16, s. 20.], [20, s. 80.]

Kloridikorrosio ilmenee raudoitteiden pistemäisenä ja hyvin voimakkaana ruostumisena. Kloridikorroosiossa syntyvät korroosiotuotteet ovat liukoisempia huokosveteen kuin karbonatisoitumisen aiheuttamassa korroosiossa, minkä takia kloridikorrosio voi edetä pitkälle ennen kuin vauriot ovat edes havaittavissa rakenteen pinnalta. Kloridien aiheuttama korrosio voi myös alkaa normaalia matalammassa lämpötilassa ja kosteuspitoisuudessa. Tämän takia on suositeltavaa, että karkaistussa kevytbetonissa käytetyt raudoitteet ovat ruostumatonta terästä. Suosituksen ilmestymisajankohdasta ei ole löydettävissä tietoa. [16, s. 25.]

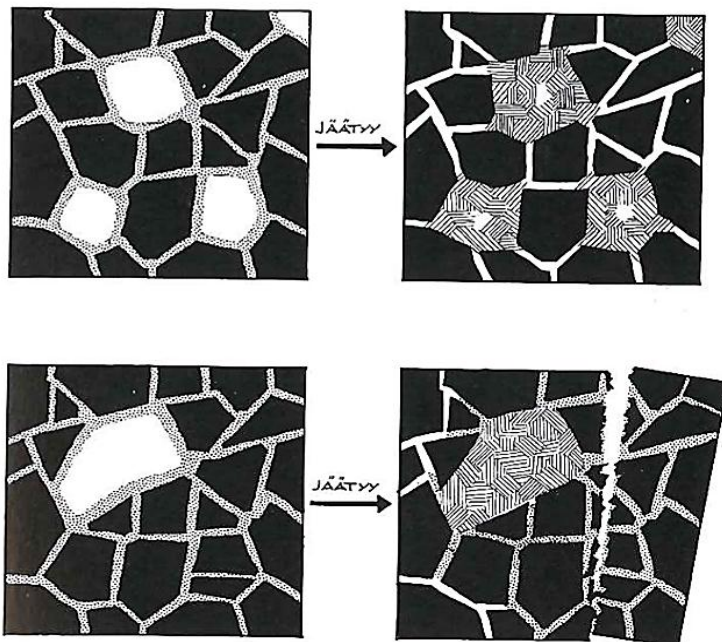
3.2 Kevytbetonin rapautuminen

Veden toistuva jäätyminen ja sulaminen huokoisen materiaalin sisällä saattaa johtaa aineen pakkasrapautumiseen. Vesi laajenee noin 9 tilavuusprosenttia jäätyessään. Jollei vesi pääse vapaasti laajenemaan aineen huokosverkostossa, aiheuttaa jäätyvän

veden tilavuudenmuutos voimia, jotka synnyttävät murtumista aiheuttavaa hydraulista painetta materiaalin sisällä. Materiaalin sisäinen rakenne ei välttämättä rikkoudu ensimmäisen jäätyksen yhteydessä vaan siihen tarvitaan useita jäätymis- ja sulamiskertoja. Huokoisen materiaalin sisältämät erikokoiset ja -muotoiset huokokset vaikuttavat oleellisesti veden käyttäytymiseen aineessa jäätyksen yhteydessä. [12, s. 170.], [21, s. 17.]

Huokoisen materiaalin pakkasvaurioitumiselle on olemassa yli 15 erilaista teoriaa, joista mahdollisesti tunnetuimpana pidetään hydraulisen paineen teoriaa vuodelta 1949. Teorian mukaan vaurioitumisen oletetaan tapahtuvan, kun vesi jäätyessään laajenee aiheuttaen hydraulisen paineen materiaalin huokosverkostossa. Hydraulinen paine syntyy, kun osa veden täyttämän kapillaarihuokoksen vedestä jäätyy ja laajenee yhtäaikaisesti jäätyneen veden puristuessa pois huokosesta. Veden siirtymisestä aiheutuu materiaaliin paikallisia sisäisiä jännityksiä, jolloin voi syntyä materiaalin lujuuden ylittymisestä aiheutuvaa säröilyä. Pitkälle edennyt pakkasrapautuminen johtaa materiaalin täydelliseen lujuuden menettämiseen. [12, s. 170.], [21, s. 17.]

Kuva 9 havainnollistaa huokoisen materiaalin jäätymistä ja jäätyksen aiheuttamaa rapautumista.



Kuva 9. Huokoisen aineen jäätyminen [22, s.109].

Mitä huokoisempaa materiaali on, sitä enemmän se pystyy absorboimaan vettä ja kosteutta itseensä. Näin ollen materiaalin liian suuri kosteuspitoisuus eli huokosten täyttyminen kokonaan altistaa rakenteen halkeilulle ja lohkeilulle, koska vesi ei mahdu laajenemaan vapaasti huokosissa. Materiaalin vaurioherkkyys kuitenkin riippuu myös aineen kriittisestä kosteudesta. Karkaistun kevytbetonin vesipitoisuuden noustessa yli 60 painoprosenttiin on pakkasvaurioiden synty mahdollista. [4, s. A6.], [20, s. 22.]



Kuva 10. Pahasti pakkasrapautunut yläpohjalaatta [23, s. 7].

Pahimmassa tapauksessa pakkasrapautuminen aiheuttaa karkaistun kevytbetonin lohkeilua ja lohcareiden irtoamista. Kuvassa 10 yläpohjalaatan pakkasrapautumisen syy on sade- ja sulamisvesien vuotaminen vesikaton läpi karkaistuun kevytbetonirakenteeseen ja sittemmin rakenteen jäätymis-sulamissyklit. Vuodon ollessa vähäistä, rakenne on imenyt sen itseensä eikä näin ollen vaurioriskiä ollut huomattu ennen pitkälle edennyttä vauriota. [23, s. 3.]



Kuva 11. Karkaistun kevytbetonin jäätymis-sulamissykliin aiheuttamaa rapautumista [13].

Kuvassa 11 on havaittavissa karkaistun kevytbetonin rakenteessa olevan ylimääräisen kosteuden jäätymis-sulamistapahtumien aiheuttamaa pakkasrapautumista. Karkaistun kevytbetonin pinta on vähitellen alkanut rapautumaan kerroksittain pinnansuuntaisesti useiden jäätymis-sulamiskertojen takia.

Myös vesivuodot yksinään voivat altistaa karkaistun kevytbetonin rapautumiselle. Vesivuodon yhteydessä rakenteen haihtumispinnassa saattaa tapahtua suolanmuodostusta. Rakenteeseen kulkeutuvan vedenmäärän ollessa suuri vesi leviää karkaistussa kevytbetonissa kapillaarisesti ja kuljettaa mukanaan vesiliukoisia suoloja kohti rakenteen haihtumispintaa. Haihtumispinnassa vesi haihtuu ja suolat kiteytyvät uudelleen rakenteen sisälle muutaman millimetrin syvyyteen alapinnasta. Suolojen kerääntyminen rakenteen haihtumispintaan voidaan havaita niin sanottuna suolapartana eli vaaleina läiskinä rakenteen alapinnassa. Kuva 12 havainnollistaa vesivuodosta johtuvaa suolojen kerääntymistä rakenteen alapintaan. [17, s. 39], [24.], [25.]



Kuva 12. Suolanmuodostumista karkaistun kevytbetoniyläpohjan alapinnassa [13].

Pahimmassa tapauksessa kiteytymät irrottavat alapinnasta noin 5 mm paksuisia laajojakin pinnansuuntaisia levyjä. Pitkään jatkuneen vesivuodon ja useiden irtoamiskertojen jälkeen tulevat elementtien alapinnan raudoitteet lopuksi näkyviin. Mikäli vuodolle ei

tehdä mitään, saattaa elementtien leikkauskestävyys vähitellen vaarantua. [17, s. 40], [24.], [25.]

3.3 Kevytbetonin halkeilu ja muodonmuutokset

Höyrykarkaistun kevytbetonin halkeilun ja muodonmuutosten syitä ovat kosteus, lämpötilavaihtelut, rakenteen ulkoinen kuormitus, pakkasrapautuminen ja raudoitteen korroosion aiheuttama sisäinen paine. Karkaistun kevytbetonin halkeiluun vaikuttaa myös sen suuri ominainen kosteusmuodonmuutos, joka on noin 0,2 ‰ (0,2 mm/m). [13.], [16, s. 45.]

Karkaistun kevytbetonin eripuolisten pinnoitteiden vesihöyrynvastusten erot aiheuttavat rakenteen epätasaisen kuivumisen, jonka takia rakenne voi alkaa kaareutua. Rakenteen kaareutumisesta johtuen rakenteeseen syntyy halkeamia, joiden kautta rakenteeseen voi tunkeutua helpommin kosteutta ja kaasuja. Riittävän isojen halkeamien kautta haitallisia aineita, kuten klorideja ja hiilidioksidia, voi tunkeutua rakenteeseen aina raudoitteiden syvyyteen asti aiheuttaen paikallista teräskorroosiota. Pitkälle edetessään raudoitteiden korroosio sekä myös pakkasrapautuminen aikaansaavat näkyvää halkeilua rakenteessa. [13.], [16, s. 45.]



Kuva 13. Höyrykarkaistun kevytbetonin tyypillistä halkeilua [13].

Kuvassa 13 on esitetty karkaistun kevytbetonin tyypillistä halkeilua. Kuvassa karkaistu kevytbetonilaatta on haljennut seinärakenteen ja yläpohjan liitoksesta ja halkeama jatkuu yläpohjalaattojen saumassa.

Halkeamia syntyy karkaistuun kevytbetoniin, kun sen veto- tai leikkauslujuus ylittyy. Muodonmuutosten vuoksi liitokset ympäröiviin rakenteisiin on tehtävä joustavina, jotta rakenteet pääsevät liikkumaan vapaasti eivätkä ole jäykästi kiinnitettyinä muihin rakenteisiin. Halkeamien aiheuttamat haittavaikutukset riippuvat halkeamien leveydestä ja syvyydestä. Haitallisten vaikutusten kannalta olisi tärkeää selvittää halkeamien jatkuvuus rakenteen sisällä ja ulottuvuus raudoitteisiin. Voimakas halkeilu saattaa vaikuttaa jopa rakenteen kantavuutta heikentävästi. [13.], [16, s. 45.], [24.]

3.4 Kiinnikkeiden ja kannakkeiden vauriot

Karkaistun kevytbetonin neutralisoituminen eli karbonatisoituminen altistaa kiinnikkeet syöpymiselle. Kylmiin rakenteisiin tehtävien kiinnitysten korroosioriski on suurempi kuin normaaleissa sisätiloissa tehtävissä kiinnityksissä. Rasitetuissa olosuhteissa olevien kiinnikkeiden tulisi olla vahvasti kuumasinkittyjä tai syöpymätöntä materiaalia. Normaaleissa olosuhteissa riittää tavalliset kiinnikkeet, kunhan huomioidaan suoraan karkaistuun kevytbetoniin tehtävien kiinnikkeiden olevan vähintään sähkösinkittyjä. [4, s. H4.]

Kantavien karkaistujen kevytbetonilaattojen asennusaikainen tuenta on yleensä toteutettu asennuslapuilla, jotka ovat olleet esim. vanerista tai puusta, ja alapohjaa kantava betonivalu on saattanut jäädä tekemättä. Näin ollen asennuslappujen mahdollisesta kostumisesta ja lahoamisesta osittain tai kokonaan johtuen alapohjarakenne on alkanut painua, mikä voidaan usein havaita jalkalistojen alle syntyneistä raoista tai ryömintätilasta. [18, s. 23.]

3.5 Pintakäsittelyiden vauriot

Karkaistun kevytbetonin pintakäsittelyiden vauriot esiintyvät yleensä pinnoitteiden, kuten maalin ja rappauksen, halkeiluna, kupruiluna, lohkeiluna tai irtoamisena alustastaan. Näiden vaurioiden syinä ovat usein vesihöyryä huonosti tai ei ollenkaan läpäisevä pinnoite, jonka takia rakenteessa oleva kosteus ei pääse poistumaan rakenteesta.

Myös alustan liikkeet, kuten halkeilu, voivat aiheuttaa pinnoitteeseen jännityksiä, jotka näkyvät pinnoitteen halkeiluna. Kuva 14 esittää tyypillistä karkaistun kevytbetonin maalipinnan halkeilua. [16, s. 43-45.]



Kuva 14. Höyrykarkaistun kevytbetonin pintakäsittelyn halkeilua [13].

Tiiviin, vesihöyryä läpäisemättömän maalipinnan alle keräytyvä kosteus saattaa aiheuttaa myös maalipinnan irtoamista alustastaan. Tämä voidaan havaita pinnoitteen kupruilemisena. Kuvassa 15 on havainnollistettu kosteudesta johtuvaa maalipinnan kupruilua.



Kuva 15. Kosteuden aiheuttamaa pullistumista maalipinnassa [13].

Maalipinnan vauriot ovat usein vain esteettinen haitta. Joillakin pinnoitteilla on kuitenkin kosteustekninen merkitys rakenteelle. Näin ollen pinnoitteen rakenteelle antaman suojavaikutuksen kadotessa, rakenteessa oleva pintakäsittely ei enää suojaa esimerkiksi rakenteen raudotteiden ruostumista. Tämä pinnoitteen pinnan vaurioituminen, kuten

halkeilu, mahdollistaa kosteuden imeytymisen rakenteeseen, mikä ei kuitenkaan kuivu nopeasti rakenteessa olevan pinnoitekerroksen takia. [16, s. 44-45.]

4 Kevytbetonirakenteiden korjaustarpeen arviointi

4.1 Kuntoarvio

Kuntoarviolla tarkoitetaan rakenteiden kunnan ja korjaustarpeiden arvioimista aistinvaraisia, kokemusperäisiä sekä rakennetta ja materiaaleja rikkomattomia menetelmiä käyttäen. Kuntoarviolla voidaan vain arvioida näkyvien vaurioiden tilanne ja näin ollen se antaa suuntaa-antavan arvion rakenteiden kunnosta. Kuntoarviolla ei voida ennakoita vaurioiden ja korjaustarpeen syntymistä ennen kuin vauriot ovat nähtävissä. Sen takia pelkän kuntoarvion perusteella ei ole suotavaa ryhtyä suunnittelemaan tai toteuttamaan korjauksia, vaan korjausten pohjaksi on syytä tehdä kuntotutkimus. [16, s. 8.], [26.], [27, s. 2.]

4.2 Kuntotutkimus

Kuntotutkimus tarkoittaa rakennusosan tai rakennusosakokonaisuuden tarkempaa tutkimista, jonka tavoitteena on selvittää mahdollinen ongelma tai vaurio ja sen aiheuttaja sekä korjaustarpeen laajuus. Kuntotutkimus sisältää aistinvaraisten tutkimusten lisäksi mittauksia, rakenneavauksia, näytteidenottoa ja laboratoriotutkimuksia. Kuntotutkimusraporttiin kirjataan mahdollisia korjaustapoja, jotka toimivat korjaussuunnittelussa apuna. [26.], [27, s. 2.]

Yleensä kuntotutkimuksella on tarkoituksena selvittää tutkittavien rakenteiden korjaustarve ja rakenteiden turvallisuus. Näiden tavoitteiden saavuttamiseksi on kuntotutkimuksessa selvitettävä rakenteissa ilmenevät vauriot ja rakenteiden toimivuuteen vaikuttavat puutteet. [16, s. 61.]

Kuntotutkimus tulee aloittaa kohteen lähtötietojen keräämisellä ja niihin perehtymisellä. Etenkin kohteen alkuperäispiirustuksiin tulee tutustua, jotta kohteen riskirakenteet voidaan selvittää ja rakenteiden vaurioalttius pystytään arvioimaan. Tutkimushetkellä voidaan saada tietoa mahdollisten vaurioiden syistä, laajuudesta ja vaikutuksista raken-

teen toimivuuteen sekä ennakoida myöhemmin mahdollisesti ilmeneviä vaurioita. [16, s. 8, 65-66.]

Rakenteiden kuntotutkimuksen suorittaminen koostuu erinäisistä peräkkäisistä vaiheista, jotka saattavat kuitenkin osittain olla päällekkäisiä. Kuntotutkimusten suorittaminen aloitetaan yleisesti suunnitteluasiakirjojen tarkastelemisella ja kohteen silmä- määräisellä yleistarkastelulla. Nämä yhdessä muodostavat esiselvitysvaiheen, jossa saatujen tietojen perusteella pyritään arvioimaan kohteen rakenteiden vaurioalttiutta, näkyvissä olevien vaurioiden määrää ja sijaintia sekä rakenteiden rasitustasoa. Esiselvitysvaiheessa kartoitetaan tutkimusten tarvetta hankkimalla tietoja mahdollisuuksien mukaan kuntotutkimuksen sisältöön vaikuttavista tekijöistä. Mitä kattavampi tietokokonaisuus esiselvitysvaiheessa saadaan, sitä tarkemmin kuntotutkimuksen sisältö pystytään määrittämään. Kuvassa 16 on esitetty kuntotutkimushankkeen eteneminen pääpiirteissään sekä suorittajan kannalta että tilaajan näkökulmasta. [16, s. 60, 61, 66.]



Kuva 16. Suositeltava kulkukaavio kuntotutkimuksille [16, s. 60].

Tutkimuksen sisällön suunnitteleminen on hyvä aloittaa etsimällä kohdetta koskevat suunnitteluasiakirjat. Ala- ja yläpohjarakenteita tutkittaessa hyödyllisiä ovat pohja- ja vesikattopiirustukset sekä rakenteita koskevat rakennepiirustukset. Piirustusten avulla saadaan muodostettua selkeämpi käsitys kohteen rakennetyypeistä, rakenteiden staattisesta toiminnasta ja rakenteisiin mahdollisesti liittyvistä ongelmista ja puutteista kuin silmämääräisen tarkastelun perusteella. [16, s. 66-67.]

Suunnitteluasiakirjoja tarkastelemalla on pyrittävä arvioimaan rakenteiden vaurioitumisalttiutta. Suunnitelmiin on kuitenkin suhtauduttava kriittisesti, koska rakenteita ei välttämättä ole toteutettu täysin suunnitelmien mukaisesti ja rakenteiden paikkansapitävyys ei välttämättä täsmää suunnitelmien kanssa. Rakenteiden paikkansapitävyyttä tuleekin arvioida myös muiden selvitysten perusteella. [16, s. 67.]

Silmämääräisellä tarkastelulla pyritään tarkentamaan tutkimustarvetta sekä selvittämään tutkimuksen käytännön suorittamiseen liittyviä asioita. Tarkastus tehdään yleensä maasta käsin käyttäen apuvälineinä esimerkiksi kameraa ja kiikaria. Varsinaisia tutkimusvälineitä ei yleensä käytetä. [16, s. 67.]

Esiselvitysvaiheen jälkeen tehdään varsinaiset tutkimukset, jotka muodostuvat kenttä-tutkimuksista ja näytteiden otosta. Tutkimuksiin sisältyy yleensä silmämääräinen tarkastus, joka on selvästi tarkempi verrattuna esiselvitysvaiheessa tehtyyn tarkastukseen, paikanpäällä tehtyjä mittauksia sekä näytteiden ottoa kenttätutkimuksia täydentäviä laboratoriotutkimuksia varten. Kenttä- ja laboratoriotutkimusten valmistumisen jälkeen seuraa havaintojen ja tulosten arviointi sekä johtopäätelmien tekeminen ja tutkimuksen raportointi. Havaintojen ja mittaustulosten analysointi on yksi kuntotutkimusten keskeisimmistä ja haastavimmista vaiheista. [16, s. 61, 69, 121.]

Analyysivaiheessa joudutaan käsittelemään paljon erilaisia tietoja, havaintoja ja mittaustuloksia. Analysoitaessa tuloksia tarkastellaan aina yhtä rakennetyyppiä ja yhtä sitä koskevaa mahdollista vauriotapaa kerrallaan. Kun tarkasteltavan rakennetyypin kaikki mahdolliset ja keskeiset vauriotavat on käyty läpi, tarkastellaan kaikkien eri vauriotapojen vaikutusta yhdessä rakennetyypin korjattavuuteen ja turvallisuuteen. [16, s. 121, 123, 134.]

Kuntotutkimuksessa kerätyt tiedot ja niiden pohjalta tehdyt johtopäätökset ja suositukset kootaan kirjalliseksi kuntotutkimusraportiksi. Kuntotutkimusraporttiin kirjataan kaikki

kuntotutkimuksen aikana kerätyt tiedot, joilla voi olla vaikutusta rakennuksen kunnossapidossa tai korjaussuunnittelussa tehtäviin ratkaisuihin. [16, s. 134.]

Kuntotutkimusraportin sisältö muodostuu pääkohdittain seuraavasti:

- kuntotutkimuksen yleistiedot
- kiinteistön yleistiedot
- havainnot kohteesta ja tutkimusten tulokset
- johtopäätökset
- toimenpide-ehdotukset. [13.]

Yleensä kuntotutkimusraportin laajin osa muodostuu tehdyistä havainnoista ja saaduista tuloksista käsittelevästä tekstiosuudesta. Korjaussuunnittelun onnistumisen kannalta on erittäin tärkeää, että kaikki korjaustavan valintaan vaikuttavat havainnot ja tulokset on sisällytetty raporttiin. Kuntotutkimuksen tulosten perusteella päätetään rakenteille soveltuvat korjausmenetelmät. [16, s. 62, 136-137.]

4.3 Tekninen käyttöikä

Teknisellä käyttöiällä tarkoitetaan aikaa, jona rakenteen tai rakennusosan tekniset toimivuusvaatimukset täyttyvät käyttöönoton jälkeen. Teknisen käyttöiän kuluessa umpeen on rakenne tai rakennusosa asianmukaista korvata uudella. Tekninen käyttöikä on yleistävä ja perustuu olemassa oleviin tietoihin ja kokemukseen rakenteen tai rakennusosan kestävydestä. [28, s. 2.]

Ennakoitavissa olevaksi karkaistujen kevytbetonirakenteiden käyttöikäksi on oletettu noin 100 vuotta. Käyttöiän saavuttamisen edellytyksenä on kuitenkin asennusohjeiden mukainen asennus sekä huolto-ohjeiden noudattaminen. Tavoiteikäiän saavuttamisen keskeisiä kriteerejä ovat hyvän rakentamistavan mukaiset suunnitelmat ja niiden toteuttaminen huolellisesti, kuten ilmapuodottomat rakenteet ja riittävän tuuletuksen järjestäminen rakenteille. [29.]

Taulukossa 1 on esitetty ryömintätillaisen betoni- tai kevytbetonialapohjan tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot.

Taulukko 1. Ryömintätilaisen betoni- tai kevytbetonialapohjan tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot [28, s. 5].

Nimikkeen otsikko, määritelmä	Tyypillinen rakentamisaika ja muu tarkempi määrittely	Keskimääräinen tekninen käyttöikä			Suunnitellun ylläpidon toimenpiteet
		vuotta (R= rakennuksen ikä)			Tarkastusväli vuotta
		Rasitusluokka			
		1 vaikea	2 normaali	3 kevyt	
Kantava betoni- tai kevytbetonilaatta + ryömintätila					
- lämmöneriste, yläpuolinen mineraalivilla tai sahanpuru	1950...	20	30	40	5
- lämmöneriste, EPS, polyuretaani tms.	1960...	R	R	R	5

Arvioituja keskimääräisiä käyttöiä karkaistuille kevytbetonirakenteille ei ole, vaan rakenteiden käyttöiät vaihtelevat runsaasti. Esimerkiksi aivan käyttökelpoisia rakennuksia löytyy jopa 1960- ja 1970-luvuilta asti. Rakennuksien käyttötarkoitusten muutos hankaloittaa rakenteiden käyttöikien arviointia, koska esimerkiksi lämpimän rakennuksen muuttaminen kylmäkäyttöön rasittaa kattorakenteita aivan eri tavalla kuin alkuperäisessä käytössä. [5.]

5 Kevytbetonirakenteiden kunnan tutkiminen

Tässä luvussa perehdytään karkaistujen kevytbetoniala- ja yläpohjarakenteiden kunnottutkimuksiin. Rakenteiden kunnottutkimukset suoritetaan usein ennen rakenteille suunniteltavia korjauksia ja muita toimenpiteitä.

5.1 Tutkimuksissa huomioitavat asiat ja tutkimusmenetelmät

Karkaistujen kevytbetonialapohjien kunnottutkimuksissa selvitetään yleensä kantavien karkaistujen kevytbetonilankkujen kunto, lankkujen raudoituksen kunto mahdollisten teräskorroosiovaurioiden varalta sekä alustilan tuulettavuuden riittävyys. [13.]

Alapohjalankkujen kunnan tutkimisessa on huomioitava etenkin lankuissa olevien halkeamien laajuus sekä kopo-alueiden suuruusluokka. Lankuissa olevien halkeamien suunta on hyvä selvittää, eli ovatko halkeamat raudoitteiden ja saumojen suuntaisia vai poikittaissuuntaisia. Niiden pohjalta voidaan arvioida alapohjalankkujen halkeilun syitä. Raudoitteiden suuntaisten halkeamien syyksi voidaan olettaa raudoitteiden korroosiota. Tällöin on hyvä selvittää, kuinka pitkälle raudoitteiden korrosio on edennyt ja arvioida rakenteen kantavuutta. Kuntotutkimuksen pohjalta tehdään päätelmiä siitä, onko rakenteen kantavuus jo menetetty vai onko rakenne vielä korjattavissa. [30.]

Ryömintätilaisten alapohjarakenteiden ollessa kyseessä on myös hyvä pistää merkille, onko ryömintätilassa havaittavissa liiallista kosteutta ja onko tilan tuuletus riittävä. Tämän pohjalta voidaan harkita ryömintätilassa olevan maan massanvaihtoa sepeliin tai muita toimenpiteitä, kuten muovikalvon asentamista maapohjan päälle, jotta kosteuden nousua maaperästä saataisiin alennettua, ja tuuletuksen parantamista kosteuden haihduttamiseksi tilasta. [30.]

Karkaistujen kevytbetoniyläpohjien ollessa kyseessä tulee katsoa mahdollisten vedeneristeiden vaurioiden varalta. Näitä vaurioita ovat esimerkiksi vedeneristeen epäjatkuvuuskohdat, pakkasrepeämät ja halkeamat eristeessä. Myös niin sanottu tulvavesi aiheuttaa rasituksia yläpohjarakenteelle, jonka takia katto on hyvä tarkastaa mahdollisten tukkeutuneiden kattokaivojen ja massiivikaton virheellisten rakenteiden varalta. Katolla olevat mahdolliset kylmät alueet on hyvä selvittää, jotta voidaan arvioida mahdollista veden jäätymisriskiä katolle. [25.]

5.1.1 Raudoitteiden korroosion tutkiminen

Teräskorroosio on yksi yleisimmistä karkaistussa kevytbetonissa havaittavista vauriomekanismeista. Pitkälle edenneen korroosiovaurioitumisen seurauksena kantavien rakenteiden kantavuus voi heiketä aiheuttaen turvallisuusriskin. Näin ollen on erityisen tärkeää selvittää raudoitteiden korroosioaste.

Raudoitteiden korroosiovaurioiden olemassaolon selvittäminen ei yleensä riitä pelkäämään korroosion osalta korjaussuunnittelun perustaksi. Soveltuvan korjaustavan valitsemiseksi on tiedettävä korroosiovaurioiden laajuus, näkyvien korroosiovaurioiden laajeneminen vastaisuudessa ja pystyttävä arvioimaan korroosiovaurioiden vaikutusta rakenteen toimivuuteen. [16, s. 69.]

Karkaistun kevytbetonin raudoitteiden korroosiotilanteen ja sen merkityksen arvioimiseksi rakenteen toimivuuden kannalta on pyrittävä tarkastelemaan ainakin seuraavia asioita:

- raudoitteiden korroosiovaurioiden laajuus
- näkyvissä olevien vaurioiden laajenemisen arviointi tulevaisuudessa
- raudoitteiden korroosion syy
- raudoitteiden korroosion ja sen etenemisen vaikutus rakenteen kantavuuteen ja turvallisuuteen
- raudoitteiden korroosiovaurioiden sijainti etenkin rakenteen kantavuuden suhteen riskialttiissa tapauksissa. [16, s. 69.]

Silmämääräisesti raudoitteiden korroosiotilannetta voidaan arvioida rakenteessa näkyvien korroosiovaurioiden ja niiden tyypillisen sijainnin kannalta. Myös raudoitteiden peitepaksuuksien tarkasteleminen korroosiovauriokohdissa antaa kuvaa terästen korroosiotilasta. Silmämääräisesti voidaan myös tarkastella rakenteen kosteusteknistä toimivuutta terästen korroosionopeuden arvioimiseksi. [16, s. 70.]

Raudoitteiden korroosiotilan arvioinnilla silmämääräisesti ei kuitenkaan saada käsitystä raudoitteiden korroosioalttiudesta kokonaisuudessaan tai vaurioiden laajenemisesta, vaan pelkästään korroosiovaurioiden vähimmäismäärä. Sen takia raudoitteiden korroosioriskiä on hyvä myös tarkastella kenttä- ja laboratoriotutkimuksin, jotta saadaan käsitys mahdollisen teräskorroosion todellisesta laajuudesta ja vakavuudesta. [16, s. 70.]

Raudoitteiden korroosioalttiutta voidaan selvittää kenttä- ja laboratoriotutkimuksin seuraavin tavoin:

- karkaistun kevytbetonin kloridipitoisuuden mittaaminen
- raudoitteiden peitepaksuuksien mittaaminen
- näytteissä olevien raudoitteiden korroosiotilan tarkasteleminen
- näytteiden ottaminen tai eri syvyyksissä olevien raudoitteiden avaaminen ja niiden kunnon tarkasteleminen. [16, s. 70.]

Höyrykarkaistun kevytbetonin raudoitteiden korroosion tutkimiseen soveltuvia tutkimusmenetelmiä ovat karkaistun kevytbetonin kloridipitoisuuden määrittäminen sekä raudoitteiden peitekerrosten mittaaminen. Karkaistun kevytbetonin karbonatisoitumissyvyyden määrittäminen oletetaan turhaksi, koska karkaistun kevytbetoni on tutkimus-
hetkellä todennäköisesti jo kokonaan karbonatisoitunutta. Tutkimusmenetelmistä karkaistun kevytbetonin raudoitteiden peitekerrosten määrittämisen voi suorittaa kenttätutkimusten ohessa. Kloridipitoisuuden mittaaminen tehdään laboratoriotutkimuksilla. [16, s. 91-98.]

Korroosion laajuuden arviointi on keskeistä sopivan korjaustavan valinnassa. Mikäli betonissa havaitaan klorideja, tulee selvittää kloridien tunkeutumissyvyydet niin sanotun kloridiprofiilin avulla, jotta pystytään arvioimaan kloridien alkuperä. [16, s. 70-71.]

Raudoitteiden peitekerrosten paksuuksien mittaaminen

Terästen peitekerrospaksuuksia kartoittamalla pyritään määrittämään korroosiolle riskialttiissa karbonatisoitumisvyöhykkeessä olevien terästen osuus. Tämän perusteella voidaan arvioida odotettavissa olevien korroosioaurioiden laajuus tulevaisuudessa. Terästen peitepaksuuksien mittaaminen voidaan tehdä ainetta rikkomattomin menetelmin peitepaksuusmittarilla, jonka toiminta perustuu sähkömagneettiseen induktioon. Peitepaksuusmittarilla voidaan havaita toimintaperiaatteesta johtuen vain tavanomaiset magneettiset teräkset eli mittari ei pysty havaitsemaan esimerkiksi ruostumattomia teräksiä. Tämä saattaa aiheuttaa ongelmia joidenkin myöhemmin rakennettujen rakennusten ala- ja yläpohjan raudoituksen peitekerrosten paksuuksien kartoittamisessa, koska karkaistujen kevytbetonielementtien raudoituksena on käytetty myös ruostumattonta terästä. [16, s. 94.]

Karkaistun kevytbetonin kloridipitoisuuden määrittäminen

Kloridit voivat jo pieninä määrinä aiheuttaa raudoitteiden korroosiota. Karkaistun kevytbetonin karbonatisoituminen vapauttaa klorideja ja kiihdyttää näin kloridikorroosiota. Karkaistun kevytbetonin kloridipitoisuuden määrittäminen tulee aina tehdä pistokoetyyppisesti, jotta saadaan yleisnäkemys rakenteen kloridipitoisuudesta. [16, s. 96.]

Kloridien aiheuttamaa korroosiota on yleensä mahdotonta tunnistaa ilman rakenneavauksia. Kloridipitoisuuden mittaus tapahtuu yleisesti karkaistusta kevytbetonista otetusta

jauhenäytteestä. Perusmenetelmänä kloridipitoisuuden määrittämiseksi käytetään titrausta. [16, s. 96-97.]

5.1.2 Kevytbetonin rapautumisen tutkiminen

Rapautumistilannetta voidaan arvioida silmämääräisesti tarkastelemalla pitkälle edenneiden rapautumisvaurioiden lukumäärää ja sijaintia rakenteessa. Myös rapautumiseen viittaavat merkit, kuten vaaleat läiskät rakenteen alapinnassa, antavat hyvää kuvaa rakenteen rapautumistilasta. Rakenteen pakkasrasitustason arviointi käytännössä kertoo rakenteen rapautumisesta. [16, s. 71.]

Höyrykarkaistujen kevytbetonirakenteiden rapautumista voidaan tutkia myös vasaroinnilla, jolla voidaan määrittää rakenteessa olevien kopo-alueiden laajuutta ja sijaintia. Päälepäin hyvässä kunnossa olevassa rakenteessa rapautumistilanne voi olla pitkällekin edennyt ennen kuin sitä huomataan, jolloin rapautuneiden kohtien kartoittamiseksi on pyrittävä tekemään rakenteen pintojen perusteellinen vasarointi. Rapautuneet karkaistut kevytbetonipinnat paljastuvat normaalia matalamman koputusäänen ja vasaran tavallista vaimeamman kimpoamisen perusteella. Karkaistujen kevytbetonirakenteiden vasaroinnissa on kuitenkin hyvä huomioida materiaalille ominainen iskuherkkyys. [16, s. 98-99.]

Karkaistun kevytbetonin rapautumisen kannalta on pyrittävä arvioimaan ainakin seuraavia asioita:

- rapautumisen vaurioaste
- rapautumisesta johtuvien vaurioiden laajuus
- rapautumisvaurioiden sijainti
- rapautumisen syy
- rapautumisen vaikutus rakenteen kantavuuteen ja turvallisuuteen
- rapautumisen laajeneminen tulevaisuudessa. [16, s. 71.]

5.1.3 Halkeilun ja muodonmuutosten tutkiminen

Halkeamien ja muodonmuutosten havainnointi voidaan yleensä suorittaa silmämääräisesti tarkastelemalla. Tarvittaessa voidaan mitata halkeamien leveyttä ja taipumien suuruutta. Karkaistussa kevytbetonissa esiintyvien erilaisten halkeamien suhteen on pyrittävä arvioimaan seuraavia asioita:

- halkeamien vaikutus rakenteen kantavuuteen ja turvallisuuteen
- halkeamien vaikutus rakenteen toimivuuteen ja ulkonäköön
- vaikutus rakenteen rasiustasoon
- halkeilun syyt
- halkeamien korjattavuus
- halkeamien säännönmukaisuus ja sijainti rakenteessa. [16, s. 78.]

5.1.4 Kiinnikkeiden ja kannakkeiden tutkiminen

Karkaistun kevytbetonin kiinnikkeiden ja kannakkeiden kuntoa voidaan tutkia tarkastelemalla suunnitteluasiakirjoja ja silmämääräisesti tai rakenneavauksin. Kiinnitysten ja kannatusten kuntoa voidaan selvittää arvioimalla suunnitteluasiakirjojen perusteella rakenteen vaurioalttiutta. Vaurioalttiisuus voidaan selvittää kiinnitysten ja kannatusten tyyppin, materiaalin ja mahdollisen suojaustavan sekä niille tulevien rasitusten perusteella. Kannatusten ja kiinnitysten tapauksessa ei kuitenkaan aina voida luottaa suunnitteluasiakirjoissa oleviin tietoihin. Kenttätutkimusten yhteydessä on pyrittävä varmistamaan rakenteiden todellinen toteutustapa. [16, s. 74.]

Silmämääräisesti tarkastelemalla voidaan havaita kiinnitysten ja kannatusten heikkenemiseen viittaavia seikkoja. Tällaisia seikkoja voivat olla muun muassa halkeamat, hammastukset ja poikkeavat siirtymät. Kiinnitysten vaurioitumista ei välttämättä voida havaita silmämääräisesti ennen kuin rakenne pettää lopullisesti. Näin ollen tutkimusten yhteydessä on hyvä huomioida, että ruostuvien kiinnitysosien heikkokuntoisimmat osat saattavat sijaita rakenteen sisällä. [16, s. 74.]

Kannatusten ja kiinnitysten kuntoa voidaan kenttätutkimusten yhteydessä selvittää tarkastelemalla kiinnitysten rakenne ja kunto sekä mittaamalla korroosiosyvyys avatusta rakenteesta ja arvioida sen perusteella kiinnitysten jäljellä olevaa kestävyyttä ja käyt-

töikää. Kannatusten kuntoa tutkittaessa on hyvä huomioida kannatusten toteutustapa eli onko kannatus tehty oikein vai onko esimerkiksi alapohjia kannatteleva betonivalu jätetty tekemättä kokonaan. [16, s. 74.]

5.1.5 Pintakäsittelyiden tutkiminen

Karkaistujen kevytbetonirakenteiden pintakäsittelyn kuntoa on pyrittävä tarkastelemaan silmämääräisesti, koska pinnoitteiden vauriot voivat olla viitteitä muista vaurioista tai puutteista kosteusteknisessä toimivuudessa. Karkaistun kevytbetonin pintakäsittelyn kunnan merkitystä rakenteen toimivuudelle ei saa väheksyä, koska pintakäsittely voi hyvinkin vaikuttaa rakenteen kosteus- ja pakkasrasitustasoon. Pintakäsittelyn vaurioituminen esimerkiksi halkeilemalla saattaa altistaa rakenteen paikallisesti runsaalle kosteusrasitukselle. [16, s. 78.]

Pintakäsittelyn kunnan tarkastaminen tapahtuu esimerkiksi pinnoitteessa olevaa halkeilua ja hilseilyä kartoittaen. Maalipinnoitteen vauriot saattavat johtua pääasiallisesti korkeasta kosteusrasituksesta, joten vauriokohdat on hyvä tarkastaa esimerkiksi koputtelemalla mahdollisen pakkasrapautuman tai karkaistun kevytbetonin terästen tartunnan heikkenemisen varalta. Luonnollisesti on arvioitava myös mahdollisen kosteusrasituksen syitä. Pintakäsittelyn vaurioilla ei kuitenkaan välttämättä ole yhteyttä muihin vaurioihin. [16, s. 108.]

5.2 Esimerkkikohte

Esimerkkikohteena toimi eräs yksikerroksinen omakotitalo, joka on rakennettu vuonna 1983. Rakennuksen alapohjassa on käytetty karkaistuja kevytbetonilankkuja, joissa on havaittavissa vaurioitumista.

Alapohjan rajattuun tutkimukseen kuului kohteen suunnitteluasiakirjojen tarkastelu ja silmämääräinen tarkastelu. Ryömintätila tarkastettiin kauttaaltaan niiltä osin, joihin oli konttaamalla tai ryömimällä mahdollista. Kohteen ryömintätilan korkeus vaihteli 40-100 cm:n välillä, mikä riitti paikoitellen hyvin konttaamiseen ja ryömimiseen tilassa. Ryömintätilan ja alapohjan kunto valokuvattiin, koska muistiinpanojen teko ryömintätilassa oli melkein mahdotonta.

Tutkimuksissa kiinnitettiin huomiota ryömintätilan tuuletukseen, pohjamaan laatuun ja kosteuteen, mahdollisiin rakennusjätteisiin sekä höyrykarkaistun kevytbetonialapohjan kuntoon. Karkaistun kevytbetonialapohjan kuntoa tarkastettaessa kiinnitettiin huomiota mahdolliseen raudotteiden korroosioon, karkaistun kevytbetonin rapautumiseen, kiinnikkeiden ja kannakkeiden kuntoon sekä halkeamiin.

Ryömintätilan tuuletuksen osalta oli havaittavissa puutteita. Tuuletusaukkoja oli liian vähän, ja osa aukoista oli jätetty avaamatta kokonaan. Ryömintätilan tuuletus on siis ollut puutteellinen jo rakennuksen valmistumisesta asti. Kuvassa 17 on esitetty yksi kohteessa havaituista umpinaisista ryömintätilan tuuletusaukoista. Tuuletusaukon toisessa päässä näkyi patolevy ja maata, jolloin voitiin todeta tuuletusaukon sijaitsevan maanpinnan alapuolella.



Kuva 17. Avaamaton tuuletusaukko.

Ryömintätilan pohjamaana oli käytetty melko hienoa hiekkaa, joka oli kauttaaltaan kostea. Kosteaa pohjamaa oli haihduttanut kosteutta ryömintätilan ilmaan, joka voitiin havaita ryömintätalassa vallitsevana märän hiekan hajuna. Alapohjan ryömintätila oli kahdessa osassa, jossa toisessa maapohjan päälle oli asetettu muovi. Muovin limityksiä ei kuitenkaan ollut teipattu. Osien välillä oli vain pieni ryömintäaukko, jonka takia muovittoman pohjamaan tuottama kosteus ei ollut levinnyt myös muovilla suojatun tilan puolelle. Näin ollen pohjamaan kosteudelta suojattu osa oli paljon kuivempi eikä ilmassa voitu havaita yhtä paljon kosteutta kuin suojaamattomalla puolella. Suojatun pohjamaan muovin alla oli havaittavissa tiivistynyttä kosteutta, jonka kapillaarinen kulku ja haihtuminen ilmatilaan oli estetty muovin johdosta. Kuvassa 18 on esitetty muovilla suojattu ryömintätilan osa.



Kuva 18. Muovilla suojattu ryömintätilan osa.

Ryömintätalassa havaitun korkean kosteuspitoisuuden ja tuuletuksen puutteen lisäksi tilaan oli jätetty rakennusjätteitä sekä muita sinne kuulumattomia esineitä. Tilasta löytyi esimerkiksi auton rengas, villaeristettä ja patolevyä. Kuva 19 havainnollistaa ryömintätalassa jätettyjä jätteitä.



Kuva 19. Ryömintätilassa havaittavia jätteitä.

Höyrykarkaistujen kevytbetonilankuissa havaittiin vaurioitumista. Mahdollisia syitä alapohjan vaurioille on pohjamaan kosteuden pääsy rakenteisiin sekä tuuletuksen riittämättömyys. Alapohjarakenteissa oli nähtävissä halkeilua ja lohkeilua sekä terästen korroosiota. Osa alapohjalankuista näytti aivan vaurioitumattomilta, mutta koputtelemalla rakenteita voitiin havaita onttoa ääntä. Ontto ääni kertoi raudoitteiden tartunnan heikkenemisestä ja mahdollisesta korroosion alkamisesta.

Karkaistujen kevytbetonilankkujen alapinnassa oli havaittavissa melko paljon jo lohjonneita sekä lohkeamassa olevia kohtia. Suurimmillaan alapinta oli lohjennut kolmen teräksen kohdalta (Kuva 20). Lohkeamista voitiin huomata, että terästen ympärillä ei ollut käytetty sementtipohjaista korroosionestomassaa eikä teräksinä ollut käytetty ruostumatonta terästä.



Kuva 20. Lohkeamat suurimmillaan alapohjalankuissa.

Alapohjalankuissa oli havaittavissa sekä raudoitteiden suuntaisia että poikkisuuntaisia halkeamia. Halkeamat oletettavasti johtuvat raudoitteiden korroosiosta, jolloin raudoituksen ruostuessa syntynyt ruoste on alkanut syrjäyttää karkaistua kevytbetonia. Kuvassa 21 on esitetty teräksen kohdalta lohjennut alapinta ja lohkeaman vieressä oleva halkeama.



Kuva 21. Lohkeama ja sen vieressä olevat halkeamat.

Ryömintätilassa voitiin havainnoida edellä mainittujen vaurioiden lisäksi se, että alapohjalankut oli asennettu suoraan kevytsoraharkkoperustuksen päälle. Alapohjalankku-

jen ja harkkoperustuksen välissä ei ollut havaittavissa kantavaa betonivalua eikä edes asennuspaloja. Kuvassa 22 on havaittavissa alapohjarakenteen tukeutuminen suoraan harkkoperustuksen päälle ilman kantavaa tuentaa.



Kuva 22. Alapohjarakenne tukeutuu suoraan harkkoperustukseen.

Tutkimusten perusteella voidaan todeta, että kohteen ryömintätilan toimivuus oli riittämätön ja alapohjarakenne oli havaitun kuntosensa puolesta melko heikossa kunnossa. Jatkotoimenpiteinä voidaan ehdottaa alapohjarakenteille lisätutkimuksia todellisen kunnan selvittämiseksi. Ryömintätilan tuuletuksen ja kosteuden estämisen kannalta voidaan ehdottaa seuraavia toimenpiteitä:

- umpinaiset tuuletusaukot avataan
- tuuleusta lisätään entisestään uusilla tuuletusaukoilla
- jätteet poistetaan ryömintätilasta
- hiekka poistetaan ja tilalle asennetaan muovi ja sepelikerros.

6 Kevytbetonirakenteiden korjaustavat

Tässä luvussa käsitellään kevytbetonirakenteiden korjaustapoja korjausasteen ja korjauskäsittelyjen mukaisen korjaustapajaottelun pohjalta. Taulukossa 2 on esitetty esimerkki kyseisestä korjaustapajaottelusta.

Taulukko 2. Esimerkki korjausasteen ja korjauskäsittelyjen mukaisesta korjaustapajaottelusta [31, s. 12].

Korjausperiaate	Korjaustapa
Säilyttävä korjaaminen	Impregnointi Pinoittaminen Yllähoito Laastipaikkaaminen Valukorjaaminen Halkeamien imeyttäminen, sulkeminen tai injektointi
Muuttava korjaaminen	Rakenteen pinnan verhoilu (käsittää yleensä myös lisälämmöneristämisen) Ruiskubetonointi Rakenteen vahvistaminen (eri tapoja)
Rakenteen uusiminen	Rakenteen purkaminen ja uudelleen rakentaminen joko kokonaan tai osittain
Erikoismenetelmät	Uudelleenalkalointi (sähkökemiallinen ja passiivinen) Katodinen suojaus Sähkökemiallinen kloridien poisto Inhibointi

Edellä mainittua korjaustapajaottelua ei voida kuitenkaan käyttää kokonaisuudessaan höyrykarkaistujen kevytbetonirakenteiden korjaamiseen, koska karkaistu kevytbetoni eroaa raudoitettusta betonista erilaisen kemiallisen rakenteensa takia. Karkaistujen kevytbetonirakenteiden korjausperiaatteina voidaan käyttää säilyttävää ja muuttavaa korjaamista sekä rakenteen uusimista. Näiden korjausperiaatteiden kaikki korjaustavat eivät kuitenkaan ole toimivia karkaistulle kevytbetonille.

Korjausperiaatteen valinnassa pyritään aina etsimään kaikki rakenteen korjaamiseen soveltuvat vaihtoehdot, joiden perusteella kyetään löytämään taloudellisten ja arvostuskysymysten sekä muiden reunaehtojen kannalta paras mahdollinen vaihtoehto. Rakenteen korjaamisella saavutettava käyttöikä on kustannusten ohella keskeinen asia korjaustavan valinnassa, koska käyttöikä vaikuttaa suoraan korjauksen taloudellisuuteen. Korjauksella saavutettava käyttöikä ei ole kuitenkaan yksikäsittäinen asia vaan se riippuu monista eri tekijöistä, joista keskeisimpiä ovat:

- korjattavan rakenteen kunto suhteessa käytettyyn korjaustapaan
- vanhan rakenteen vaurioiden laajeneminen tulevaisuudessa
- rakenteen rasitusolosuhteet, rakennuksen käyttötarkoitus
- korjaussuunnittelun ja työsuorituksen laatu
- itse korjauksen vaurioituminen
- rakennuksen huolto ja ylläpito. [16, s. 54-55.], [31, s. 13.]

Tietyllä korjauksella voidaan aikaansaada ihanteellisissa olosuhteissa ja huolellisesti suunniteltuna ja toteutettuna erittäin pitkäaikainen rakenne, kun saman korjauksen käyttöikä saattaa jäädä väärissä olosuhteissa käytettynä tai huonosti toteutettuna vain muutaman vuoden mittaiseksi. Korjaustapa ja korjaustoimien laajuus tulee valita siten, että rakenteessa olemassa olevien vaurioiden eteneminen saadaan pysäytettyä kokonaan tai ainakin hidastumaan merkittävästi. Liian kevyillä ja vain näkyvissä oleviin vaurioihin kohdistuvilla korjauksilla ei saada pitkäaikaista käyttöikää korjatulle rakenteelle. Erityisesti kosteusrasitusten vähentämisellä on suuri merkitys rakenteiden käyttöiälle. Kun teräkset saadaan pysymään kuivina, ei terästen korroosio juurikaan käytännössä etene. [16, s. 55.]

6.1 Säilyttävä korjaus

Säilyttävällä korjauksella tarkoitetaan olemassa olevan rakennuksen elinikää pidentävää toimintaa, jonka tarkoituksena on korjata rakenteissa olevat puutteet ja viat vanhaa rakennetta kunnioittaen. Tätä korjaustapaa voidaan käyttää, kun rakennetta tai sen toimintaa ei haluta muuttaa ja rakenne ei ole menettänyt kantavuuttaan merkittävästi. Karkaistulle kevytbetonille soveltuvat säilyttävät korjaustavat ovat terästen kunnostus, laastipaikkaus, pinnoitus sekä injektointi. [32.]

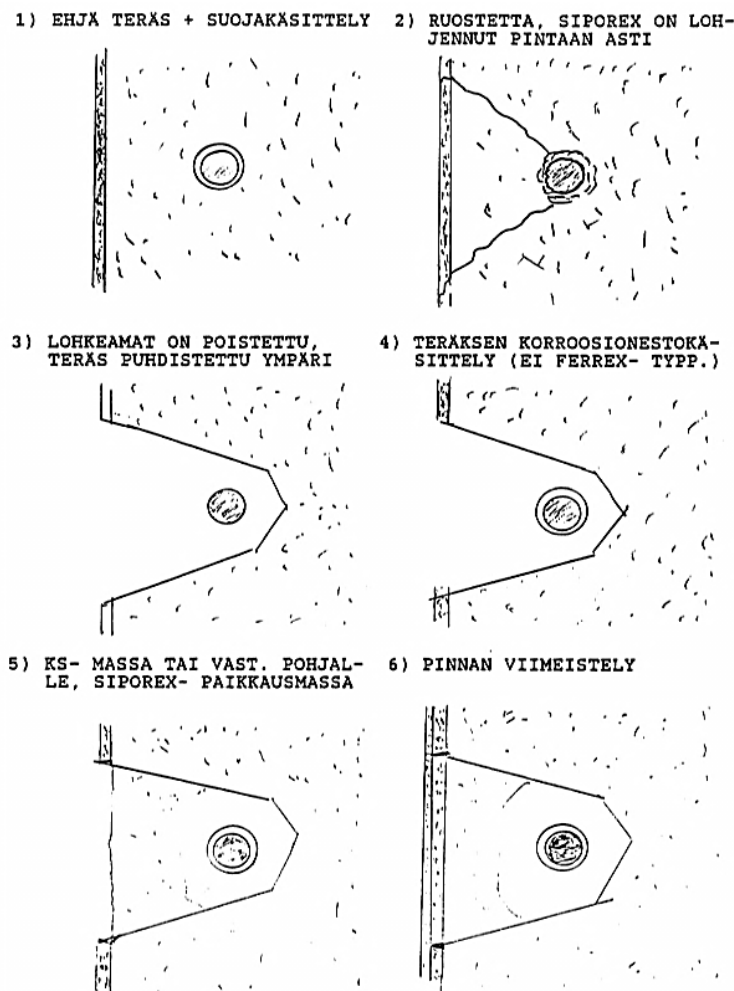
6.1.1 Terästen kunnostus

Karkaistujen kevytbetonirakenteiden terästen kunnostus koostuu eri työvaiheista. Ensin korroosiovaurioitunut rauditus paljastetaan terästen pituussuuntaa seuraten irrottamalla mahdollinen jäljellä oleva elementin alapinta ruostuman kohdalta, kunnes saavutetaan uloimmaksi edenneen voimakkaan ruostuman rajakohta. Kaikki lohkeamassa oleva karkaistu kevytbetoni poistetaan varovasti alapinnasta. Lohkeamassa olevat kohdat löytyvät koputtelemalla elementtiä, jolloin poistettavat osat niin sanotut koponalueet kuulostavat erilaiselta kuin ehjät alueet. Karkaistuun kevytbetonia kolotaan tarvittaessa varovasti terästen takaa, jotta teräksen puhdistus on mahdollista. Ruostuneiden pitkittäisteräksiä yhdistävien poikittaisjakoterästen suhteen menetellään vastaavalla tavalla. [25.], [33.]

Mikäli elementin teräkset ovat ruostuneet niin, että niiden poikkileikkauspinta-ala on selvästi pienentynyt, on elementin kestävyys ja kunto erikseen tarkastettava ennen

paikkaustyön aloittamista. Näin on myös meneteltävä, vaikka eri terästen ohentumiset eivät olisikaan lähellä toisiaan. [25.], [33.]

Paljastetut raudoitteet puhdistetaan esimerkiksi kaapimalla, teräsharjalla, hiomalaikalla tai hiomakankaalla ruostumisasteesta riippuen. Erityisen tehokas työväline on kulmahiomakoneen teräsharjalaikka. Terästen puhdistaminen teräsharjalaikalla aiheuttaa kuitenkin paljon pölyä ja edellyttää siksi tehokkaiden suojainten käyttöä. Puhdistuksen jälkeen teräksen pintaan sivellään sementtipohjainen korroosionesto- ja tartuntapinnoinne kahteen kertaan. Huomioitavaa terästen pintakäsittelyssä on, että eräät yleisimmät ruosteenestomaalit menettävät tehonsa alkalisessa laastiympäristössä. Terästen kunnostuksen työvaiheet on havainnollistettu kuvassa 23. [25.], [33.]



Kuva 23. Karkaistujen kevytbetonirakenteiden terästen kunnostuksen vaiheet [24].

Elementtien rauditus ei saa olla tukipintojen kohdalla tai niiden välittömässä läheisyydessä voimakkaasti ruostunutta. Tämä koskee sekä pitkittäisraudoitusta että raudituksen päissä olevia poikittaisteräksiä niin sanottuja ankkuriteräksiä. Mikäli tällaisia löytyy, on elementin kunto tarkastettava erikseen ja sen perusteella harkittava korjaustapaa. Korjaustapoja tällaisessa tapauksessa voivat olla elementtien tuenta tai vauriokohtien korjaus esimerkiksi injektoimalla. Pahimmassa tapauksessa on elementit vaihdettava kokonaan. [25.], [33.]



Kuva 24. Karkaistun kevytbetonialapohjan korroosionestoaineella käsitellyt teräkset [13].

Kuvassa 24 on esitetty karkaistun kevytbetonialapohjan korroosiovaurioituneiden terästen suojaus sementtipohjaisella korroosionestoaineella. Erityistä huomiota on kiinnitettävä terästen taustan käsittelylle. Terästen korroosionestokäsittelyn jälkeen suoritetaan karkaistun kevytbetonin laastipaikkaus. [25.], [33.]

6.1.2 Laastipaikkaus

Laastipaikkauskorjauksella tarkoitetaan karkaistussa kevytbetonirakenteessa esiintyvien paikallisten korroosio- ja rapaumavaurioiden, kuten lohkeamien, paikkaamista laastipaikkaustekniikoin. Laastipaikkaustyöhön sisältyy useita työvaiheita, joiden onnistuminen on kriittistä rakenteen käyttöiän pidentämisen kannalta. [16, s. 47-48.]

Laastipaikkauksessa karkaistussa kevytbetonissa olevat lohkeamat sekä terästen kunnostuksen ohessa avatut ja puhdistetut kohdat paikataan hienolaastin ja polypropyleenikuitulaastin seoksella suhteessa 70/30. Terästen taustan täyttymiseen tulee kiinnittää erityisesti huomiota, koska teräkset tartutetaan laastin välityksellä takaisin karkaistuun kevytbetoniin kiinni. [25.], [33.]

Lohkeamapinta kostutetaan ja siihen levitetään ohut kerros vetelähköä tartuntalaastia. Tartuntalaastin annetaan kuivua noin 2 tuntia, jonka jälkeen suoritetaan lisätäyttö jäykemmällä laastilla. Halkeamien välttämiseksi on paksuimmat täytöt suositeltavaa suorittaa useana ohuena kerroksena. [25.], [33.]

Paikkaustäyttöjen ollessa suuria voidaan massan työnaikaisen tartunnan varmistamiseksi karkaistuun kevytbetoniin lyötyjä syöpymättömiä nauvoja. Laastiseoksen avulla teräkset tartutetaan alustaansa ja laastikerros muodostaa tartunta-alustan varsinaiselle paikkauskerrokselle. Paikkauskerros tehdään tarvittaessa myös useammassa kerroksessa kutistumahalkeamien syntymisen välttämiseksi. Paikkauslaastin pinta viimeistellään puuhiertona alkuperäisen pinnan tasoon. Paikkauksia jälkihoidetaan kahden vuorokauden ajan kostuttamalla. [25.], [33.]

Paikkauslaastin kuivuminen on nopeaa ja sitä voidaan sellaisenaan käyttää lohkeamien täyttöön, kun paikattavassa kohdassa ei ole korroosiosuojausta tai tartuntaa vaativia raudoitteita. [25.], [33.]



Kuva 25. Karkaistun kevytbetonialapohjalankun laastipaikkaus [13].

Kuvassa 25 on suoritettu karkaistun kevytbetonalapohjalaatan laastipaikkaus. Aina tehtyjä paikkauksia ei saada täsmälleen vanhan pinnan näköiseksi. Ohut maali- tai pinnoitekäsittely peittää paikan yleensä huomaamattomaksi, vaikkakin alapohjien laastipaikkauksen osalta ulkonäöllä ei niinkään ole merkitystä. Ehtona kuitenkin on, että kahden laatan välillä ei saa olla yhtenäistä laastia. [13.], [33.]

6.1.3 Pinnoitus

Pintakäsittelyjen alustana höyrykarkaistu kevytbetoni on vastaavanlainen kuin muut kiviainesmateriaalit. Pinnoitettaessa karkaistua kevytbetonia on kiinnitettävä huomiota materiaalin kosteustilaan ottamalla näyte pinnoitettavasta alueesta. Hyvin huokoisena materiaalina karkaistu kevytbetoni imee itseensä helposti kosteutta, jonka takia pintakäsittelyn tehtävänä on hidastaa materiaaliin tunkeutuvan kosteuden kulkua. Pintakäsittelyltä vaaditaan hyvää vesihöyrynläpäisevyyttä, koska pinnoite ei saa estää alustan kuivumista. [4, s. H1.], [34.]

Mikäli käytetään tiivistä pinnoitetta, materiaalin on annettava kuivua ennen pintakäsittelyä. Muuten pinnoite ei pysy pinnassa ennen kuin materiaali on lopettanut kosteuden luovuttamisen. Tiivistä pinnoitetta käytettäessä on myös kiinnitettävä huomiota rakenteen pintaan. Karkea tai halkeillut pinta yleensä aiheuttaa epäjatkuvuuskohtia pinnoitteeseen. Näin ollen epäyhtenäinen pinnoite mahdollistaa kosteuden imeytymisen pinnoitekalvon läpi nopeammin kuin kosteuden on mahdollista kuivua pinnoitteen läpi. Karkaistua kevytbetonia ei suositella maalattavaksi suoraan, vaan on suositeltavaa pinnoittaa rakenne ohuella tasoituskerroksella ennen varsinaista maalausta. [17, s.63.], [35, s. 73.]

Ennen rakenteen pintakäsittelyä poistetaan pinnalta hilseilevät ja heikosti kiinni olevat tai jauhemaiset maalikerrokset. Poistomenetelmä valitaan alustan lujuuden ja poistettavan maalityypin mukaan. Pinnalta poistetaan myös heikosti kiinni olevat materiaali-kerrokset ja korjataan mahdolliset kolot ja lohkeamat paikkauslaastilla. Pinnoitettava pinta puhdistetaan liasta, pölystä ja suoloista. Mikäli alustassa on havaittavissa suolojen muodostumista, tulee suolojen syy poistaa mekaanisesti esimerkiksi teräsharjalla ennen käsittelyä. [36.]

6.1.4 Halkeamien injektointi

Injektoinnilla tarkoitetaan nestemäisen kovettuvan aineen pumppaamista paineen avulla halkeamiin niin, että aine täyttää halkeamassa olevan tyhjän tilan ja kovettuu pysyväksi osaksi rakennetta. Injektoinnilla voidaan korjata yli 0,2 mm leveitä halkeamia. Kapeammat halkeamat käsitellään yleensä muilla menetelmillä. [35, s. 84.]

Elementit, joiden pitkittäisten terästen ankkuroinnin tartunta on merkittävästi heikentynyt tai joissa esiintyy syvälle vetoterästen yläpuoliseen massaan ulottuvia halkeamia, voidaan korjata injektoidulla epoksihartsilla tai vastaavalla materiaalilla. Injektointityötä suoritettaessa valmiiksi paikkakäsiteltyyn elementtiin porataan halkeamakohtiin massan syöttöreiät. Syöttöreiät on hyvä merkitä etukäteen elementin paikkausvaiheessa reikien löytymisen helpottamiseksi. Injektointivaiheessa on noudatettava erityistä varovaisuutta, jotta paine ei riko elementtejä. Injektointityö on syytä antaa asiantuntijan suoritettavaksi. [33.]

6.2 Muuttava korjaus

Muuttava korjaus tarkoittaa rakenteen toiminnan muuttamista. Karkaistuja kevytbetonirakenteita ja niiden toimintaa voidaan muuttaa rakenteen tuennalla, vahvistamisella tai pinnan verhoilulla.

6.2.1 Rakenteen pinnan verhoilu

Karkaistujen kevytbetonirakenteiden pinnan verhoilun on pääasiassa tarkoitus peittää vaurioitunut rakenne uudella pintaverhouksella. Verhouksella voidaan useimmissa tapauksissa vähentää merkittävästi rakenteen kosteusrasitusta, jolloin karkaistun kevytbetonin rapautuminen ja raudotteiden korroosio hidastuu huomattavasti. [16, s. 49.]

Rakenteen lisälämmöneristäminenkin käsitetään usein myös pinnan verhoiluksi. Lisälämmöneriste voidaan asentaa rakenteen ylä- tai alapuolelle. Kuva 26 esittää lisälämmöneristelevyjen asentamista mekaanisesti karkaistun kevytbetonialapohjan alapintaan. Höyrykarkaistujen kevytbetoniylä- ja alapohjien lisälämmöneristämiseen on perehdytty tarkemmin luvussa 7.



Kuva 26. Karkaistun kevytbetonialapohjan alapintaan asennetut eristyslevyt [13].

Rakenteen pinnan peittävää korjausta käytetään yleensä, kun korroosio- ja rapautumavaurioita on nähtävissä tai odotettavissa niin runsaasti, että paikalliset korjaukset eivät ole teknisesti mahdollisia. Pinnan verhoilua voidaan myös käyttää vaurioita ehkäisevänä toimenpiteenä. Virheellinen pintaverhoilu saattaa kuitenkin edesauttaa vaurioiden syntymistä, jonka takia rakenteen toimivuuden tarkasteluun on kiinnitettävä erityistä huomiota. [16, s. 50.]

6.2.2 Rakenteen tuenta ja vahvistaminen

Rakenteen tuennalla ja vahvistamisella tarkoitetaan niiden kantavuuden lisäämistä. Karkaistujen kevytbetonilankkujen tuenta voidaan toteuttaa ympäröivistä rakenteista tai maapohjasta esimerkiksi elementtien asennustuilla. Rakenteiden kantavuuden parantaminen tukien avulla on kuitenkin yleensä vain väliaikainen tapa, jota seuraa usein rakenteiden vahvistaminen tai uusiminen. [13.], [35, s. 87.]

Karkaistut kevytbetonilankut on yleensä mitoitettu yksiaukkoisina palkkeina ja elementit on raudoitettu siten, että maksimimomentin tai leikkausvoiman sijainnilla rakenteessa ei ole merkitystä. Suurin osa karkaistun kevytbetonin ja terästen välisistä voimista on siirretty raudoitteen päissä olevien poikittaisten, pääteräksiin hitsattujen ankkuriterästen välityksellä. [4, s. D28.]



Kuva 27. Karkaistun kevytbetonialapohjan tuenta teräspalkilla [13].

Kantavuuttaan menettäneitä karkaistuja kevytbetonilankkuja voidaan vahvistaa esimerkiksi lankkujen alapintaan asennetuilla teräspalkeilla (Kuva 27). Teoreettisesti voidaan olettaa karkaistun kevytbetonilankun suurimman momentin (kaava 1) olevan mitoitettu siten, että rakenteen varmuus on kaksinkertainen. Rakenteessa vaikuttava suurin momentti sijaitsee jännevälän keskellä.

Kun yksiaukkoista palkkia rasittaa tasainen kuorma, palkille vaikuttavan maksimimomentin kaava on seuraava:

$$M_{Ed} = \frac{p \cdot L^2}{8} \quad (1)$$

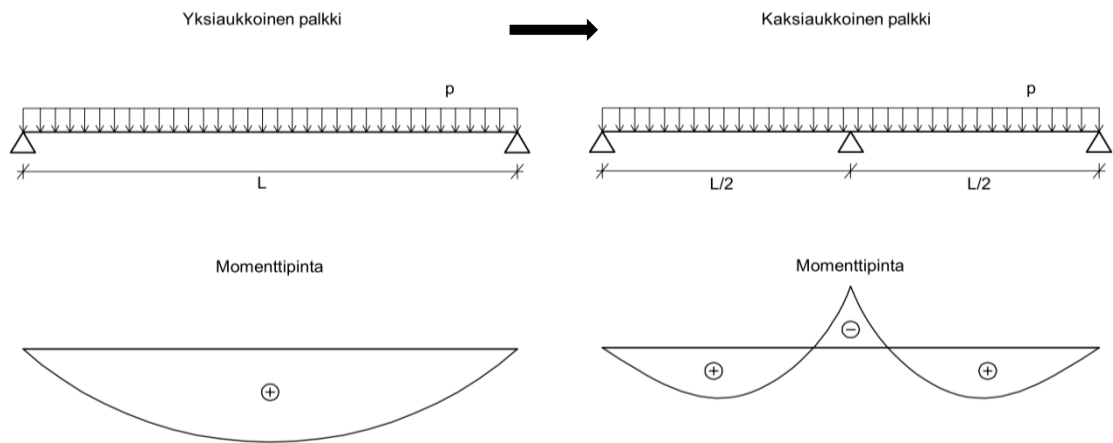
p on rakenteessa vaikuttava tasainen kuorma

L on rakenteen jänneväli

[37.]

Oletetaan rakenteen kestävän momentin heikentyneen puolet alkuperäisestä mitoitusmomentista, kun rakennetta ryhdytään korjaamaan. Tällöin rakenteen kestävän momentin varmuuden oletetaan olevan 1. Rakenteen kantavuuden lisäämiseksi voidaan ajatella rakenteen puoleen väliin asennettavaksi tuki, jolloin saadaan rakenteeseen

vaikuttava suurin momentti pienennettyä. Tällöin rakenne muuttuu yksiaukkoisesta kaksiaukkoiseksi palkiksi, jolloin sen momenttipintakin muuttuu (Kuva 28). Näin ollen rakenteelle syntyy myös negatiivista momenttia lisätyn tuen kohdalla. Elementit ovat kuitenkin alun perin mitoitettu myös kestäämään pieniä negatiivisia momenteja.



Kuva 28. Momenttipinnan muuttuminen yksiaukkoisen palkin muuttuessa kaksiaukkoiseksi.

Kaksiaukkoisessa palkissa vaikuttaa kaksi kenttämomenttia ja yksi tukimomentti. Kaksiaukkoiselle palkille vaikuttavien momenttien kaava on seuraava:

$$M_{Ed} = k \cdot p \cdot L^2 \quad (2)$$

k on taulukosta saatava kerroin

[37.]

Kaksiaukkoisen palkin, jota rasittaa tasainen kuorma, kenttämomenttien kertoimena k käytetään 0,07 ja tukimomentin kertoimena k -0,125. Tällöin kenttämomenttien kaava on seuraava:

$$M_{Ed,kenttä} = 0,07 \cdot p \cdot L^2$$

ja tukimomentin kaava vastaavasti:

$$M_{Ed,tuki} = -0,125 \cdot p \cdot L^2$$

Kun alkuperäisen yksiaukkoisen palkin puoleen väliin asennetaan tuki, puolittuu jännevälän pituus kaksiaukkoiselle palkille. Näin ollen kaksiaukkoisen palkin laskennassa käytetään jännevälän L sijasta jänneväliä $\frac{L}{2}$. Tällöin kaava kenttämomenteille on seuraava:

$$M_{Ed,kenttä} = 0,07 \cdot p \cdot \left(\frac{L}{2}\right)^2$$

ja tukimomentille vastaavasti:

$$M_{Ed,tuki} = -0,125 \cdot p \cdot \left(\frac{L}{2}\right)^2$$

Näin ollen vahvistamisella saataisiin rakenteeseen noin 7-kertainen varmuus. Tosin laskelmissa oletetaan kaikkien tukien olevan painumattomia, jolloin todellisen rakenteen suurin momentti on oletettavasti kaksinkertainen. Tällöin voidaan olettaa, että vahvistamisella saatu varmuus on luokkaa 3. Yksiaukkoisten elementtien muuttaminen kaksiaukkoisiksi on kuitenkin aina tarkistettava erikseen eikä edellä oletettua tapaa voida käyttää sellaisenaan rakenteiden vahvistamisen suunnittelussa.

Edellä esitetyn tavan toimiminen riippuu elementtien jännevälistä ja lisätyn tuen kohdalle syntyvän negatiivisen momentin suuruudesta. Elementit ovat raudoitettu kestävästi vähäistä negatiivista momenttia, minkä takia jänneväliltään lyhyet elementit saattavat kestääkin lisätuelle syntyvän negatiivisen momentin. Pitkillä jänneväleillä keskelle lisätulle tuelle saattaa syntyä liian suuri negatiivinen momentti, joka murtaa elementin. Tällöin voidaan ajatella useamman lisätuen asentamisen pienentävän lisätukien kohdille syntyvää negatiivista momenttia. Kaikki tapaukset ovat kuitenkin tarkasteltava erikseen.

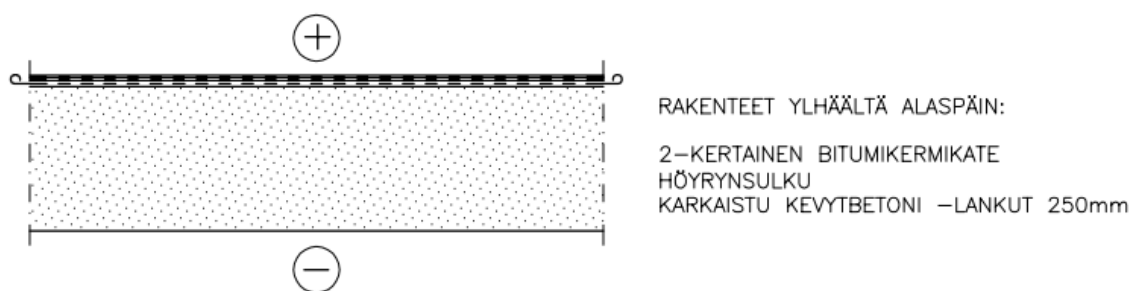
Karkaistujen kevytbetonirakenteiden vahvistaminen on vaativa tehtävä, joka edellyttää erikoisammattitaitoa. Rakenteen vahvistaminen edellyttää aina rakenteen toiminnan huolellista analysointia ennen vahvistustoimenpiteitä ja niiden jälkeen. [35, s. 87.]

6.3 Rakenteen uusiminen

Rakenteen uusimisella tässä yhteydessä tarkoitetaan vanhan rakenteen korvaamista osittain tai kokonaan uudella rakenteella. Mikäli rakenteessa esiintyy oleellisesti kantavuutta alentavia vaurioita, kuten pakkasrapautumista, elementtien puristusvyöhykkeellä, joudutaan rakenne yleensä uusimaan. [13.]

Rakenteiden uusiminen yleensä edellyttää vanhojen rakenteiden purkamista. Purkaminen voi tulla erityisesti kyseeseen silloin, kun vanha rakenne ei ole kelvollinen uuden rakenteen alustaksi. Joissakin tapauksissa purettavasta rakenteesta voidaan jättää ja hyödyntää joitakin osia. [16, s. 51.]

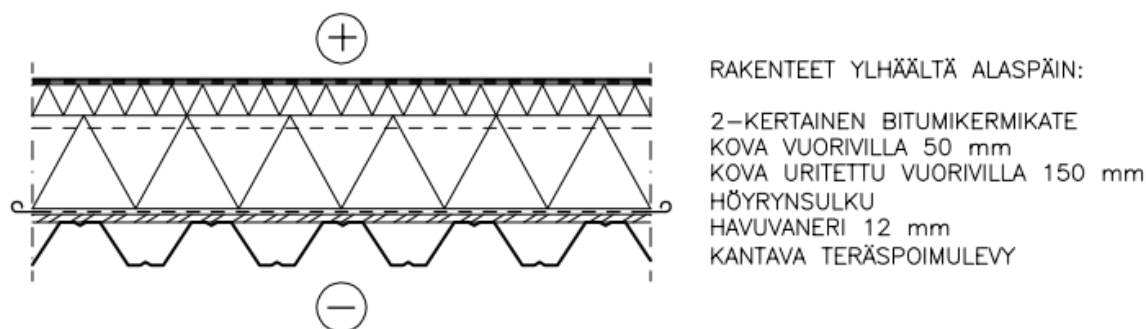
Seuraavaksi esitellään yläpohjarakenne (Kuva 29), jonka alustavien lämpö- ja kosteusteknisten laskelmien mukaan todettiin karkaistujen kevytbetonielementtien kunnan olevan erittäin todennäköisesti heikko yläpinnassa tapahtuneen mahdollisen pakkasrapautumisen takia. Rakenteen elementtien kosteuspitoisuudeksi arvioitiin 60...80 painoprosenttia, joka on pitkäaikaisesti erittäin haitallista karkaistujen kevytbetonirakenteiden toimivuudelle. Tapauksessa karkaistujen kevytbetonirakenteiden yläpuolelle ei ollut asennettu lämmöneristettä, mikä on mahdollistanut elementeissä olevan kosteuden jäätymis- ja sulamissyklit. Näin ollen rakenteen pakkasrapautuminen on todennäköistä. [13.]



Kuva 29. Uusittavan rakenteen lähtötilanne [13].

Mikäli tarkemmissa tutkimuksissa ilmenee, että karkaistut kevytbetonielementit ovat menettäneet oleellisesti kantavuuttaan, rakenteen suositeltavaksi korjausvaihtoehdoksi esitellään kuvan 30 mukainen rakenne. Uuden rakenteen kosteustekninen toiminta on kuitenkin hyvä tarkastaa ajasta riippuvilla lämpö- ja kosteusteknisillä laskelmilla eri

sisäilman olosuhteilla. Näin saadaan varmistettua rakenteen soveltuvuus kohteeseen. [13.]



Kuva 30. Korjausvaihtoehto rakenteen uusimiselle [13].

Korjausvaihtoehdossa koko vanha rakenne puretaan kantava rakenne mukaan lukien. Karkaistun kevytbetonirakenteen tilalle suunnitellaan kantava teräspoimulevy, jonka päälle asennetaan havuvaneri höyrynsulun alustaksi. Höyrynsulun päälle asennetaan kaksi kerrosta lämmöneristettä ja bitumikermikate. [13.]

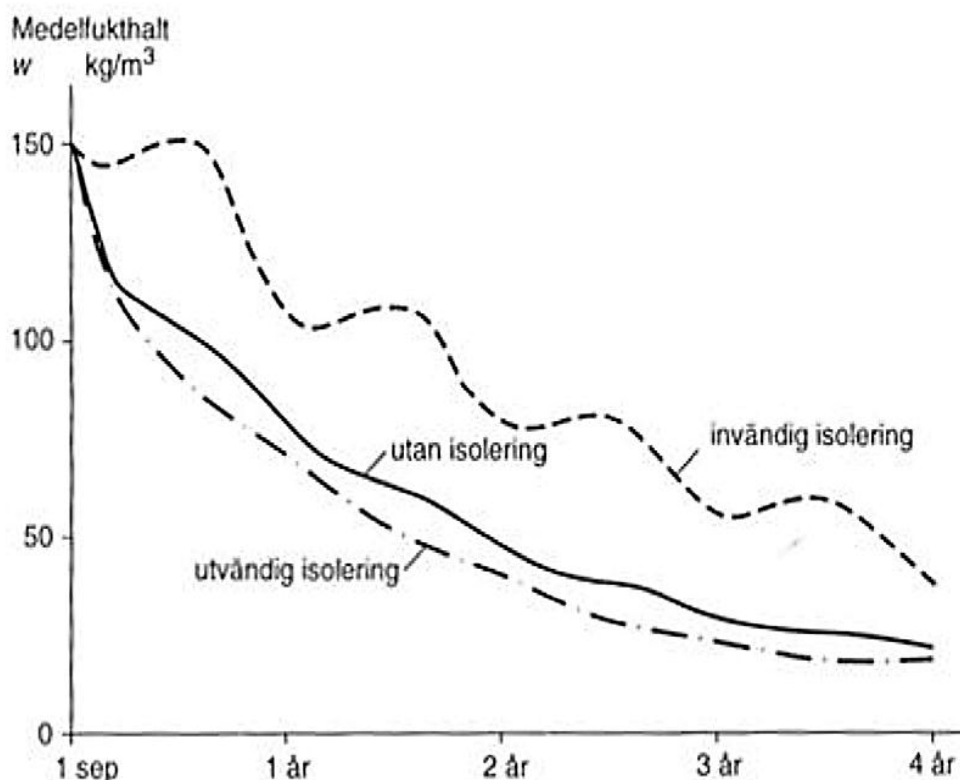
7 Lisälämmöneristäminen

Tässä luvussa käsitellään karkaistusta kevytbetonista tehtyjen massiivirakenteiden lisälämmöneristämisen vaikutuksia kosteustekniseen toimintaan sekä ylä- ja alapohjien lisälämmöneristeen sijainnin ja materiaalin vaikutuksia rakenteen toimintaan. Tässä luvussa myös perehdytään tarkemmin massiivialapohjien alapuolisen lisälämmöneristämisen merkitystä rakenteen toimivuudelle tutkimalla eri eristemateriaalien ja -paksuuksien vaikutusta alapohjan kosteustekniseen toimintaan DOF-LÄMPÖ 2.2 -ohjelman avulla.

7.1 Lisälämmöneristeen vaikutus kosteustekniseen toimintaan

Lisälämmöneristäminen vaikuttaa rakenteiden kosteustekniseen toimintaan merkittävästi. Eristeen sijainnilla ja paksuudella on suuri merkitys rakenteen toimivuudelle. Kuvassa 31 on esitetty 200 mm paksun karkaistun kevytbetoniyläpohjan kuivuminen, kun se on lämmöneristetty ulko- ja sisäpuolelta 100 mm paksulla mineraalivillaeristeellä

sekä lämmöneristämätön. Y-akseli kuvaa rakenteen keskimääräistä kosteuspitoisuutta kilogrammaa kuutiometriä kohden ja x-akseli rakenteen kuivumisaikaa vuosissa. Katkoviivalla on kuvattu sisäpuolelta eristettyä, pistekatkoviivalla ulkopuolelta eristettyä ja yhtenäisellä viivalla eristämätöntä rakennetta. Kuten kuvasta voidaan havaita, ulkopuolisen eristyksen ansiosta rakenne kuivuu nopeammin kuin muissa tapauksissa. Tämä johtuu siitä, että ulkopuolinen lämmöneriste kasvattaa rakenteen lämpötilaa ja näin ollen rakenteessa oleva kosteus pääsee haihtumaan tehokkaammin.



Kuva 31. Karkaistun kevytbetonikaton kuivuminen lisälämmöneristämisen vaikutuksesta [38].

Kylmänä vuodenaikana kosteus kondensoituu karkaistuihin kevytbetonielementteihin, varsinkin sellaisiin yläpohjarakenteisiin, joissa elementtien päälle on suoraan asennettu vedeneristys tai elementtien alapinnassa on ääneneristys tai lämmöneristys. Yläpuolelta eristettäessä höyrykarkaistusta kevytbetonista tehtyä yläpohjarakennetta tulisi lisälämmöneristeen lämmönvastus olla yli kaksinkertainen karkaistun kevytbetonin lämmönvastukseen verrattuna, jotta rakenteeseen ei synny kastepistettä. Kosteuden poistuminen elementeistä tapahtuu rakenteesta sisätiloihin, joten elementtien alapinnassa olevalla pintakäsittelyllä ja mahdollisella sisäverhouksella on oltava pieni diffuusiovastus. [39.]

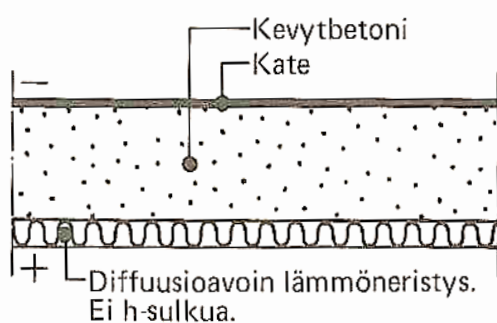
Lisäeristettäessä karkaistuja kevytbetonirakenteita tulee korjaussuunnittelun yhteydessä selvittää rakenteiden kokonaisrakennusfysiikka, jotta lisäeristäminen ei aiheuttaisi vaurioita rakenteisiin. Esimerkiksi 1960-luvulla rakennetun lämmöneristämättömän karkaistun kevytbetonihallin katon alapintaan asennettiin 100 mm paksuinen lisäeristys kovasta mineraalivillasta käyttötarkoituksen muutoksen yhteydessä. Tämä kuitenkin aiheutti sen, että tietyissä lämpötilaolosuhteissa alkoi katosta tippua vettä. Veden tippumisen syyksi osoittautui kosteuden tiivistymisestä karkaistun kevytbetonin alapintaan. Suurinta kosteuden tiivistyminen oli pitkän ja kovan pakkasjakson yhteydessä, jolloin rakenteeseen tiivistynyt kosteus jäätynyt ja ulkolämpötilan noustessa sitten sulii. Mineraalivillan heikon vedenpitokyvyn takia vesi tippui maan vetovoiman pakottamana lattialle. [40, s. 177-178.]

7.2 Sisäpuolelta eristäminen

Sisäpuolisella lämmöneristeellä tarkoitetaan rakenteen lämpimälle puolelle asennettua lämmöneristystä.

Yläpohjat

Yläpohjan sisäpuolinen lisäeristys laskee vanhan rakenteen lämpötilaa. Tämä voi aiheuttaa riskin vesihöyryn kondensoitumiselle rakenteeseen, jos rakenteeseen pääsee vuotamaan sisäilmaa. Sisäilmassa oleva kosteus voi kulkeutua rakenteen läpi diffuusiolla tai siirtyä rakenteeseen kosteuskonvektion avulla. Näin ollen voidaan sisäpuolelta lisäeristäminen tehdä vain yksittäistapauksissa. Kuvassa 32 on esitetty alapuolelta lisäeristetty yläpohjarakenne. [39.], [41.]

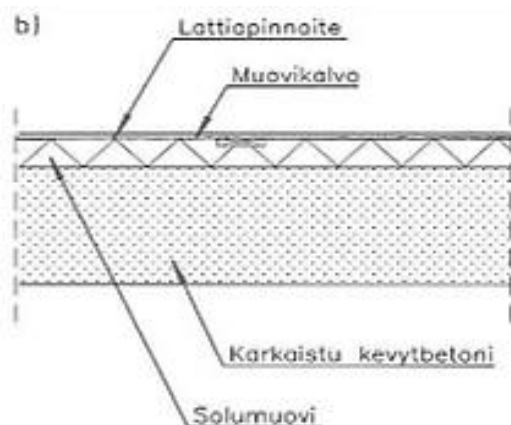


Kuva 32. Alapuolelta lisäeristetty yläpohjarakenne [39, s. 91].

Kevytbetoniyläpohjan lämpötila alenee sisäpuolisen lämmöneristämisen vaikutuksesta ja lisää näin rakenteelle kohdistuvia pakkas- ja kosteusrasituksia. Käytettäessä alapuolista lämmöneristystä, tulisi eristeen olla diffuusioavoin eli niin sanotusti hengittävä, jotta rakenteen rakennekosteus pääsee poistumaan alaspäin. Diffuusioavoimia eristeitä ovat esimerkiksi mineraalivillat. Alapuolisen eristeen ei tulisi olla kovin paksu, sillä mitä kylmemmäksi rakenne tulee, sitä hitaammin se kuivuu. [31, s. 91.], [40, s. 195.]

Alapohjat

Yläpuolelta lämmöneristetyin ryömintätillaisen höyrykarkaistun kevytbetonialapohjan kosteusvaurioriskit ovat samankaltaiset kuin maanvaraisen betonilaatan päälle asennetussa puulattiarakenteessa. Kosteusvaurioriski perustuu kantavan karkaistun kevytbetonilaatan ja sisätilan suureen lämpötilaeroon. Lämmöneristeen suhteellinen kosteus nousee, koska lämmöneristeessä oleva sisäilma kylmenee laatan yläpinnassa. Kosteuden lisääntyminen laatan yläpinnassa voi aiheuttaa kosteuden kondensoitumista laatan yläpintaan. Riskin suuruuteen vaikuttaa myös ryömintätilan olosuhteet, kuten talvella ryömintätillassa vallitseva alhainen lämpötila sekä ryömintätilan korkea ilman- kosteus, joka vaikuttaa myös rakenteen kosteuspitoisuuteen. Suurimmillaan riski on ulkoseinien nurkkakohdissa, missä alapohja on kylmimmillään ja kosteutta pääsee tiivistymään enemmän. [18, s. 88.]



Kuva 33. Yläpuolelta lisäeristetty alapohjarakenne [12, s. 53].

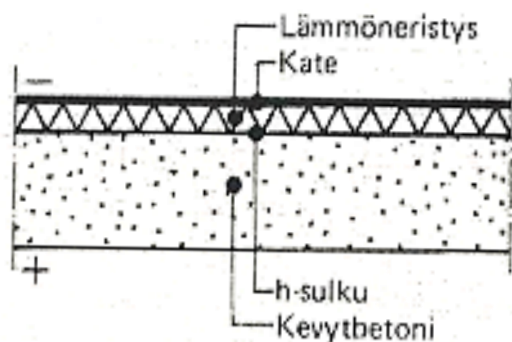
Kuvassa 33 on esitetty periaate yläpuolelta lisälämmöneristetyistä alapohjarakenteesta, jonka lämmöneristeenä on käytetty solumuovia.

7.3 Ulkopuolelta eristäminen

Ulkopuolinen lämmöneriste on rakenteen kylmälle puolelle asennettu lämmöneristys. Karkaistun kevytbetonirakenteen mahdollinen lisälämmöneristys tulisi aina sijoittaa rakenteen ulkopuolelle, jotta rakenteen lämpötila olisi korkeampi ja rakenne kuivuisi paremmin. [31, s. 119.]

Yläpohjat

Kevytbetonikatot lisälämmöneristetään yleensä ulkopuolelta. Ulkopuolisella yläpohjan lisäeristyksellä voidaan vaikuttaa positiivisesti vanhan rakenteen kosteustekniseen toimintaan. Kevytbetoniyläpohjan kuitenkin liian ohut ulkopuolinen lämmöneristäminen voi aiheuttaa kosteuden tiivistymistä talvella ja heikentää rakenteen kuivumista kesällä. [39.]



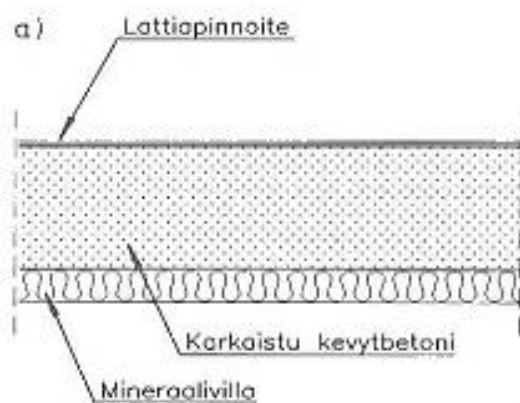
Kuva 34. Yläpuolelta lisäeristetty yläpohjarakenne [31, s. 91].

Kun lämmöneriste asennetaan rakenteen yläpuolelle, tulee karkaistun kevytbetonirakenteen ja lämmöneristeen välissä käyttää höyrynsulkua. Karkaistun kevytbetonin alapintaa ei tule pintakäsittellä tiiviillä pinnoitteella, jotta rakenne pääsee kuivumaan. Karkaistun kevytbetonikatot lämmönjohtavuus on luultavasti hiukan parempi, kun yläpohja eristetään rakenteen ylä- eikä alapuolelta. Kun eristys sijaitsee rakenteen yläpuolella, on karkaistu kevytbetoni kuivempaa. Kuva 34 havainnollistaa yläpuolelta lisälämmöneristettyä yläpohjarakennetta. [31, s. 91, 94.], [39.], [40, s. 195.]

Alapohjat

Karkaistujen kevytbetonialapohjien lisäeristys tulee sijoittaa höyrykarkaistun kevytbetonin ulkopuolelle. Näin karkaistun kevytbetonin lämpötila on korkeampi ja se kuivuu paremmin. Kun eristeenä käytetään mineraalivillaa, eristepaksuus saa olla mikä vain. Käytettäessä solumuovia tulee eristepaksuuden olla riittävän suuri, jotta kosteuden kondensoitumista eristyksen sisäpintaan ei tapahtuisi. Ryömintätillaisen alapohjan alapuolisena eristysenä on kuitenkin syytä käyttää vesihöyryä läpäisevää mineraalivillaa, jotta rakenteessa oleva kosteus pääsee haihtumaan alaspäin. Mineraalivillan käyttö ei kuitenkaan ole sopivinta rakenteen toimivuuden kannalta, koska mineraalivilla ei sido kosteutta itseensä vaan päästää sen lävitseen. Näin ollen alapohjan ryömintätilaan kertyvä kosteus pääsee kulkeutumaan vapaasti myös toiseen suuntaan.

Kuvassa 35 on havainnollistettu alapuolelta mineraalivillalla lisälämmöneristetty massiivialapohjarakenne. [12, s. 52-53.], [31, s. 122-124.]



Kuva 35. Alapuoletta lisäeristetty alapohjarakenne [12, s. 53].

Toimivan alapuolisen lisälämmöneristämisen teoreettiseen tutkimiseen voidaan käyttää erilaisia ohjelmia. Tässä työssä tutkitaan DOF-LÄMPÖ 2.2 -ohjelmalla ryömintätillaisen massiivialapohjarakenteen alapuolisen lisälämmöneristysvaikutusta, kun käytetään eri eristemateriaaleja ja -paksuuksia. D.O.F tech Oy:n kehittänyt DOF-LÄMPÖ 2.2 -ohjelma on rakenteen lämpö- ja kosteuskäyrien, kondenssimäärän, U-arvon ja energiakulutuksen arviointiin tarkoitettu ohjelma [42].

Tutkittaviksi eristemateriaaleiksi valitaan mineraalivilla, paisutettu ja suulakepuristettu polystyreeni sekä polyuretaani. Materiaalitietoina käytetään Suomen rakennusmää-

räyskokoelman osan C4 (2003) lämmöneristysten ohjeissa annettuja rakennusaineiden lämmönjohtavuuksien suunnitteluarvoja. Eristepaksuuksina käytetään 50 mm, 100 mm, 150 mm sekä 200 mm. Karkaistun kevytbetonialapohjan toimivuutta tutkitaan sellaisissa olosuhteissa, joissa tuuletustilan lämpötila on -10 °C ja sisälämpötila +20 °C. Suhteellisina kosteuksina käytetään sisällä RH 50 % ja tuuletustilassa RH 90. Ohjelmalla ei pystytä huomioimaan rakenteen alapuolisen tuuletuksen vaikutusta rakenteen kuivumiseen. Kantavan rakenteen kerrospaksuutena käytetään 250 mm. Taulukkoon 3 on kerätty laskelmissa käytettäviä arvoja, jotka perustuvat Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C4 (2003) esitettyihin arvoihin.

Taulukko 3. DOF-LÄMPÖ 2.2 -ohjelman laskelmissa käytetyt arvot.

Aine, tarvike	Paino (kg/m ³)	Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo (W/mK)	Vesihöyryn läpäisevyys (kg/msPa)
Karkaistu kevytbetoni	500	0,135	3,088889E-11
Mineraalivilla	155	0,055	1,050000E-10
Paisutettu polystyreeni EPS	45	0,033	4,111111E-12
Suulakepuristettu polystyreeni XPS	33,5	0,037	4,111111E-12
Polyuretaani PU	45	0,033	3,088889E-11

Alapohjarakenteille käytettävät pintavastukset ovat sisäpinnalle $R_{si} = 0,17 \frac{m^2 \cdot K}{W}$ ja ulkopinnalle $R_{se} = 0,04 \frac{m^2 \cdot K}{W}$, kun rakenteen lämpövirran suunta on alaspäin. Pintavastusten arvot saadaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osasta C4 (2003). [43.]

Ensimmäiseksi tarkastellaan vertailun vuoksi lisälämmöneristämättömän massiivialapohjan toimintaa. Sen jälkeen tarkastellaan massiivialapohjan alapuolelle sijoitetun mineraalivillan vaikutuksia rakenteen toimintaan. Tarkastelussa on käytetty 50, 100, 150, 200 mm paksuja eristepaksuuksia.

Mineraalivillan vaikutusten jälkeen tarkastelussa on paisutetulla polystyreenillä eli EPS:llä lisäeristetty rakenne. Eristepaksuudet pysyvät samoina kuin aikaisemmin. Näiden tarkasteluiden jälkeen vuorossa on suulakepuristettu polystyreeni eli XPS ja polyuretaani. Eristepaksuuksina käytetään edelleen samoja arvoja, jotta vertailun tulos olisi mahdollisimman tarkka. Vertailusta saadut tulokset esitetään luvussa 9.

8 Muita kevytbetonirakenteiden korjaamisessa huomioitavia asioita

Alimitoitettu ilmankierto ryömintätilassa aiheuttaa kuivumisen hidastuessa lämpöhukkaa, koska karkaistun kevytbetonin lämmöneristyskyky heikkenee 4 prosenttia jokaista veden painoprosentin lisäystä kohti. Pahimmillaan alimitoitettu ilmankierto aiheuttaa alapohjalankkujen raudoitteiden korroosioriskin. Tehokkainta tuuletuksen kuivaava vaikutus on silloin, kun ryömintätilaan virtaava ulkoilma on kylmää ja lämpenee ryömintätilaan tultuaan. Näin kosteuden tiivistymistä tapahtuu vähiten, koska kylmä ilma ei sisällä kosteutta yhtä paljon kuin lämmön ilma. Taulukossa 4 on esitetty karkaistun kevytbetonialapohjan, joka on paksuudeltaan vähintään 150 mm, vähimmäistuuletuksen tarve ja tuuletusaukkojen koko välipohjan pinta-alasta. Taulukon mukaan karkaistun kevytbetonialapohjan vähimmäistuuletuksen tarve on 0,6 litraa sekunnissa neliometriä kohden. Tuuletusaukkojen määrä on tuulelle alttiissa tilanteessa eli avoimessa maastossa yksin olevalla rakennuksella 1,0 promillea ja tuulelta suojatussa tilanteessa eli tiiviisti rakennetulla taloalueella 2,0 promillea koko ryömintätilan pinta-alasta. Hyvin tuulelta suojatuissa paikoissa voi alapohjan koneellinen tuuletus olla tarpeen. [12, s. 175.], [17, s. 45.], [24.]

Taulukko 4. Ryömintätilaisen alapohjan tuuletuksen ohjearvot [12, s. 175].

Alapohjan rakennusaine	Vähimmäistuuletustarve l/sm ² (m ³ /h · m ²)	Tuuletusaukkojen koko m ² /100 m ² välipohjan pinta-alasta	
		Tuulelle altis sijainti ¹	Tuulelta suojattu sijainti ^{1,4}
Puu ²	0,3 (1)	0,05	0,10
Karkaistu kevytbetoni ≥ 0,15 m	0,6 (2) ³	0,10	0,20
Betoni	0,3 (1) ³	0,05	0,10

Maaperä luovuttaa aina kosteutta alapohjan alapuoliseen tilaan. Tällöin kosteus saavuttaa rakenteiden toimivuuden kannalta vahinkoja aiheuttavan tason, jollei kosteuden poistoa ole järjestetty ilmatilaa tuulettamalla tai estämällä kapillaarista kosteuden nousua maaperästä. Kapillaarisen maakosteuden nousu on hyvä estää pintaan asennettavalla rakennekerroksella ja karkealla sepelöinnillä. Sepelinä käytetään raekooltaan 6-16 mm pestyä sepeliä, joka asennetaan noin 50 mm paksuudelta levitetyn muovin päälle. Korkeampiin kohtiin sepeliä asennetaan ohuemmin. Tällainen korkea kohta voi olla esimerkiksi näkyvä kalliopinta ryömintätilassa. Mikäli kalliopinnat havaitaan ehjiksi ja kiinteiksi, voidaan sepelöinti jättää tekemättä. [12, s. 175-176.], [13.]

9 Tulokset

Karkaistun kevytbetonin ja tavallisen betonin vauriomekanismeissa ei ole huomattavia eroja. Kuitenkin karbonatisoitumisen aiheuttama vaurioituminen on harvinaisempaa karkaistussa kevytbetonissa, koska terästen pinnalle syntyy vain ohut suojaava oksidikalvo karkaistun kevytbetonin ollessa heikosti emäksistä. Karkaistun kevytbetonin ollessa myös niin huokoista voidaan olettaa sen olevan lähes joka tapauksessa kokonaan karbonatisoitunutta. Tämän takia karbonatisoitumissyvyyden mittaaminen yleensä on tarpeetonta, koska voidaan olettaa sen olevan läpi karbonatisoitunutta.

Huokoisen rakenteen takia karkaistun kevytbetonin vauriot havaitaan lähes aina myöhemmin kuin teräsbetonissa. Esimerkiksi terästen korroosiossa syntyvä ruoste tunkeutuu mahdollisesti karkaistussa kevytbetonissa oleviin suuriin huokosiin eikä näin aiheuta näkyviä vaurioita lyhyessä ajassa vaurioitumisen alkamisesta. Tosiasiassa kuitenkin karkaistuun kevytbetoniin syntyy kopo-alueita, kun teräksen tartunta karkaistuun kevytbetoniin heikentyy materiaalin halkeilematta ja lohkeamatta. Näin ollen vaurioiden laajuuden ja vakavuuden arviointi on lähes mahdotonta silmämääräisesti.

Varsinaisia kuntotutkimuksia karkaistuille kevytbetonirakenteille on tehty vähän ja niiden tutkiminen on erikoistutkimusta, jolle ei ole ollut ohjeistusta. Työn tuloksena saatiin sovellettua karkaistuille kevytbetoniala- ja yläpohjarakenteiden kuntotutkimusten tekemiseen soveltuva ohjeistus. Ohjeet sisältävät kuntotutkimuksen vaiheita, tutkittavia asioita ja tutkimusmenetelmiä, jotka soveltuvat karkaistujen kevytbetoniala- ja yläpohjarakenteiden kuntotutkimuksiin. Ohjeistus perustuu teräsbetonirakenteiden kuntotutkimusten ohjeisiin.

Karkaistun kevytbetonin kuntotutkimukset eroavat hieman tavallisen betonin kuntotutkimuksista. Karkaistu kevytbetonin rakenne on paljon huokoisempaa kuin tavallisen betonin, mikä tekee siitä herkemmin hajoavan esimerkiksi materiaalin piikkaamisesta ja poraamisesta. Tästä johtuen karkaistun kevytbetonin kuntotutkimuksissa ei voida hyödyntää kaikkia teräsbetonin tutkimiseen käytettyjä toimenpiteitä.

Myöskään kaikkia karkaistun kevytbetonin korjaustoimenpiteitä ei voida suorittaa samalla kaavalla kuin teräsbetonin. Esimerkiksi karkaistun kevytbetonin terästen kunnossuunnitelmassa tulee kopo-alueet poistaa varovasti vasaralla koputtelemalla, kun taas teräsbetonin ollessa kyseessä käytettäisiin piikkauskonetta.

Karkaistujen kevytbetoniala- ja yläpohjien lisälämmöneristäminen oletettavasti hidastaa tai saattaa jopa estää rakenteiden vaurioitumista. Lisäeristeen sijainnilla rakenteessa on kuitenkin suuri merkitys, nimittäin sisäpuolisella lisäeristyksellä ei välttämättä saada aikaan vaurioita vähentävää vaikutusta. Sisäpuolinen eristys voi jopa pahimmissa tapauksissa pahentaa rakenteen vaurioitumisriskiä. Esimerkiksi massiivikaton alapuolinen lisäeriste estää kantavan rakenteen kuivumista ja voi aiheuttaa rakenteeseen kosteusriskin lisäksi pakkasvaurioita.

Kriittisimmäksi rakenteeksi oletettiin alapuolelta lisälämmöneristetty karkaistun kevytbetonialapohja, jonka lisäeristykseksi suositeltiin käytettäväksi mineraalivillaa. Mineraalivilla kuitenkin päästää kosteutta lävitseen eikä näin suojaa rakenteeseen päin kulkeutuvan mahdollisesti kulkeutuvalta kosteutta sisältävältä ilmalta. Tämän takia tutkittiinkin eri eristemateriaalien ja -paksuuksien vaikutuksia yksinkertaisen massiivialapohjan kosteustekniseen toimintaan. Tuloksena saadut tulosteet on esitetty liitteessä 3.

Taulukkoon 5 on koottu tulokset kantavan rakenteen ja lämmöneristykseen rajapintaan kerääntyneestä kosteudesta, kun eristeenä on käytetty eri paksuisia mineraalivilla-, EPS-, XPS- ja PU-eristeitä.

Taulukko 5. Kantavan rakenteen ja lämmöneristykseen rajapintaan kertynyt kosteus DOF-LÄMPÖ 2.2 -ohjelmalla laskettuna.

Eriestemateriaali	Paksuus [mm]	Kyllästymiskosteus [g/m ³]	Kosteusmäärä [g/m ³]	Suhteellinen kosteus [%]
Ilman lisäeristystä	0	2,25	1,92	85,7
Mineraalivilla	50	4,69	2,30	49,0
	100	6,52	2,63	40,4
	150	7,92	2,93	37,0
	200	9,02	3,20	35,5
Paisutettu polystyreeni EPS	50	5,96	5,96	99,9
	100	8,32	6,97	83,7
	150	9,90	7,42	75,0
	200	11,02	7,68	69,7
Suulakepuristettu polystyreeni XPS	50	5,65	5,96	100,0
	100	7,89	6,97	88,3
	150	9,45	7,42	78,6
	200	10,58	7,68	72,6
Polyuretaani PU	50	5,96	8,11	100,0
	100	8,32	8,37	100,0
	150	9,90	8,46	85,4
	200	11,02	8,50	77,2

Taulukosta voidaan huomata hengittävällä mineraalivillalla lisäeristetyin rakenteen suhteellisen kosteuden pysyvän alle 50 prosentissa kaikilla tutkituilla eristepaksuuksilla rakenteen kriittisessä rajapinnassa. Paisutetun polystyreenillä eli EPS:llä eristetyllä rakenteella on tiivistymisriski kantavan rakenteen ja lisäeristeen rajapintaan, kun lisäeriste on 50 mm. Kun lisäeristykseen paksuutta lisätään, rakenteen suhteellinen kosteus vähenee eikä näin rakenteeseen synny enää tiivistymisriskiä. Rakenteen suhteellinen kosteus pysyy kuitenkin vielä noin 70 prosentissa, vaikka käytetään 200 mm:n paksuisia eristettä. Näin ollen rakenteen suhteellinen kosteus on melko kriittinen karkaistun kevytbetonin toiminnalle.

Myös suulakepuristetun polystyreeni- eli XPS-eristettä käytettäessä syntyy rakenteeseen kondensoitumisriski rajapintaan eristeen ollessa 50 mm:n paksuinen. Muillakin eristepaksuuksilla suhteellinen kosteus pysyy yli 70 prosentin rajapinnassa. Polyuretaanilla lisäeristettäessä rakenteen kosteusmäärä rajapinnassa ylittää rajapinnan kylälästmiskosteuden, kun käytetään 50 mm:n ja 100 mm:n paksuisia eristeitä. Näin ollen rajapintaan tiivistyy kosteutta. Eristepaksuuksia 150 mm ja 200 mm käytettäessä suhteellinen kosteus rajapinnassa pysyy yli 75 prosentissa.

Tulosten perusteella paras vaihtoehto tiivistä eristeistä on paisutettu polystyreeni- eli EPS-eriste, kunhan eristepaksuus on 200 mm tai yli. Tällöin kantavan rakenteen ja lisäeristeen rajapinnassa vallitseva kosteus sekä rakenteen lämpötila olisi mahdollisimman otollinen karkaistulle kevytbetonille. Muutkin tiiviit eristeet soveltuvat käytettäväksi, kunhan eristettävän rakenteen suhteellinen kosteus saadaan mahdollisimman pieneksi tai rakenne pääsee kuivumaan sisäänpäin. Rakenteen suhteellisen kosteuden ollessa alle 60 prosenttia, rakenne toimii parhaiten eikä rakenteen vaurioitumisriski ole suurimmillaan.

10 Yhteenveto

Höyrykarkaistun kevytbetonin käyttö aloitettiin jo 1930-luvulla. Siitä lähtien karkaistua kevytbetonia on käytetty niin lämmöneristeenä kuin kantavina rakenteinakin. Tässä insinööriyössä perehdyttiin karkaistusta kevytbetonista tehtyjen ala- ja yläpohjarakenteiden kuntotutkimuksiin ja korjaustapoihin. Insinööriyön aikana kerättiin tietoa erilaisista karkaistujen kevytbetonirakenteiden vauriomekanismeista sekä verrattiin niitä teräsbetonissa esiintyviin vaurioihin. Vaurioiden vertailun pohjalta pystyttiin muokkaamaan

teräsbetonirakenteille tarkoitettuja tutkimus- sekä korjausohjeita karkaistulle kevytbetonille soveltuviksi. Teräsbetonin kunnan tutkimiseen tarkoitetuista menetelmistä arvioitiin kloridipitoisuuden määrittämisen, raudoitteiden peitekerrospaksuuksien mittaamisen, vasaroinnin soveltuvan parhaiten karkaistun kevytbetonin kunnan tutkimiseen.

Insinööriyön ohella tehtiin myös pienimuotoinen tutkimuskäynti Vantaalla sijaitsevan vuonna 1983 rakennetun omakotitalon alapohjaan. Tutkimuskäynnin tarkoituksena oli tuoda konkreettisempia esimerkkejä kuntotutkimuksessa havainnoitavista asioista sekä havaittujen asioiden perusteella tehdyistä korjaustoimenpide-ehdotuksista.

Karkaistun kevytbetonin kuntotutkimuksissa esiin tulleiden tulosten pohjalta tehdään päätelmiä soveltuvista korjausvaihtoehdoista. Sopivat korjausvaihtoehdot voidaan jaotella säilyttäviin ja muuttaviin korjaustapoihin sekä rakenteen uusimiseen osittain tai kokonaan uudella rakenteella. Säilyttävien korjaustapojen osalta laastipaikkaus, pinnoitus ja halkeamien injektointi sekä terästen kunnostus soveltuvat karkaistun kevytbetonin korjaukseen, kun rakenteen alkuperäinen olemus halutaan säilyttää. Kun vanhan rakenteen toimivuutta halutaan muuttaa tai rakenteen pelkkä säilyttävä korjaus ei enää riitä, voidaan rakenteen toimivuutta muuttaa pinnan verhoilulla, tuennalla tai vahvistamisella. Rakenteen uusimista voidaan suunnitella siinä vaiheessa, kun rakenne on niin vaurioitunut, ettei se ole enää korjattavissa tai korjaaminen ei ole taloudellisesti kannattavaa.

Insinööriyössä tutkittiin myös massiivialapohjarakenteen alapuolisen lisälämmöneristeen vaikutuksia rakenteen kosteustekniseen toimivuuteen. Tutkimustulosten mukaan mineraalivillalla eristäminen ei aiheuta kosteuden tiivistymisriskiä rakenteen ja eristeen rajapintaan, mutta se ei myöskään estä kosteuden pääsyä rakenteeseen, jolloin rakenne on silti alttiina vaurioitumiselle. Ohuet ja tiiviit eristeet aiheuttavat tutkimusten perusteella kosteuden kondensoitumista rakenteeseen. Näin ollen ne aiheuttavat vaurioriskin, jos rakenne ei pääse kuivumaan ylöspäin. Tiivistä eristeistä EPS on kosteusteknisesti kannattavin, mutta senkin käytössä tulee huomioida riittävä eristepaksuus sekä eristettävän rakenteen suhteellinen kosteus.

Höyrykarkaistujen kevytbetonirakenteiden tutkimus- ja korjaustarve tulee oletettavasti kasvamaan rakenteiden ikääntymisen myötä, jolloin insinööriyöhön kerätyistä tutkimus- ja korjaustavoista on hyötyä kuntotutkimuksia sekä korjaussuunnittelua tekeville suunnittelijoille myös tulevaisuudessa.

Lähteet

- 1 Vahanen Oy:n kotisivut. Verkkodokumentti. <www.vahanen.com> Luettu 17.2.2014
- 2 Olkkonen, Erno. 2013. Lehtori, Metropolia Ammattikorkeakoulu, Helsinki. Rakennuksen kunnan arviointi. Johdanto ja korjausrakentamisen markkinat – Power-Point esitys.
- 3 Työterveyslaitos. Korjausrakentaminen Suomessa. Verkkodokumentti. <http://www.ttl.fi/fi/verkkokirjat/Documents/Korjausrakentaminen_Suomessa.pdf> Luettu 20.3.2014
- 4 H+H Finland. Suunnittelijan käsikirja. Verkkodokumentti. <http://www.hplush.fi/esitteet/suunnittelijan_kasikirja> Luettu 16.12.2013
- 5 Fromholtz, Terho. Suunnittelupäällikkö, H+H Finland Oy. Puhelinkeskustelu 28.2.2014
- 6 Siikanen, Unto. 2009. Rakennusaineoppi. Viro: Rakennustieto Oy.
- 7 Neuvonen, Petri (toim.). 2006. Kerrostalot 1880-2000. Tampere: Rakennustieto Oy.
- 8 WHD Microanalysis Consultants Ltd. Verkkodokumentti. <<http://www.understanding-cement.com/autoclaved-aerated-concrete.html>> Luettu 14.1.2014
- 9 Nyt Teknisk Forlag. Lättbetonghandboken. Verkkodokumentti. <<http://www.materials.dk/links/D6x4%20L%C3%A4ttbetonghandboken.pdf>> Luettu 5.2.2014
- 10 Senaatti-kiinteistöt. Verkkodokumentti. <http://www.senaatti.fi/filebank/43-Kontrahti_3_2011.pdf> Luettu 10.1.2014
- 11 Tuppurainen, Yrjö (toim.). 1988. RIL 174-1 Korjausrakentaminen I - yleiset perusteet. Hanko: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y.
- 12 Saari, Kauko (toim.). 1991. RIL 182 Rakenteiden tarkastus ja valvonta. Sastamala: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- 13 Vahanen Oy:n raporttimallit.

- 14 Kettunen, Ari-Veikko. 2013. Erikoisasiantuntija, Vahanen Oy. Vahanen Akatemia. Rakenteiden vaurioituminen ja rakennusfysiikan perusteet – PowerPoint-esitys.
- 15 Auktorisoidut kuntoarvioijat ja -tarkastajat ry:n kotisivut. Verkkodokumentti. <<http://www.kuntoarviot.net/files/8048.pdf>> Luettu 21.2.2014
- 16 Suomen Betoniyhdistys ry. 2013. BY42 Betonijulkisivun kuntotutkimus 2013. Vantaa: BY - koulutus Oy.
- 17 Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 1996. RIL 183-2.22-1996 Rakennusmateriaalien ja rakenteiden käyttöikä – 2.22 Rakennukset höyrykarkaistusta kevytbetonista, teollisuusrakennus. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y.
- 18 Kemoff, Tapio. 2012. Asuinrakennuksen kuntotarkastusopas. Tampere: Rakennustieto Oy.
- 19 Sisäilmayhdistys ry. Verkkodokumentti. <<http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/kunnossapito-ja-korjaaminen/maanvastaiset-rakenteet/betoninen-alapohja/>> Luettu 15.1.2014
- 20 Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 1994. RIL 183-3.1...2-1994 Rakennusmateriaalien ja rakenteiden käyttöikä – rasitukset: 3.1 Yleiskastelu, 3.2 Kosteus. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- 21 Ympäristöministeriö. Verkkodokumentti. <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/37980/SY17_2010_Julkisivujen_ ja_parvekkeiden_kestavyys_muuttuvassa_ilmastossa.pdf?sequence=1> Luettu 10.1.2014
- 22 Kaila, Panu. 2004. Talotohtori - rakentajan pikkujättiläinen. Porvoo: WSOY.
- 23 Onnettomuustutkintakeskus. Verkkodokumentti. <http://www.turvallisuustutkinta.fi/material/attachments/otkes/tutkintaselostukset/fi/muotonnettomuudet/2006/d62006y_tutkintaselostus/d62006y_tutkintaselostus.pdf> Luettu 10.1.2014
- 24 Kaskela, Tapio. 1997. Suomen Siporex Oy. Kiinteistön ylläpitokorjauksen: Siporex-rakenteet – Kurssimateriaali.
- 25 Suunnittelu ja kehitys, H+H Finland Oy. 2002. Vesivuodoista vaurioituneen Siporex-katon korjaussuositus. Korjausohje.
- 26 Olkkonen, Erno. 2013. Lehtori, Metropolia Ammattikorkeakoulu, Helsinki. Rakennuksen kunnan arviointi. Kuntoarvio – PowerPoint esitys.

- 27 RT 18-11131. 2013. Asuinkiinteistön kuntoarvio – Kuntoarvioijan ohje. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 28 RT 18-10922. 2008. Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 29 VTT. 2002. Ympäristöseloste. Höyrykarkaistu kevytbetoni.
- 30 Kuusela, Arto. Rakennesuunnittelija, Vahanen Oy. Haastattelu 28.2.2014.
- 31 Björkholtz, Dick. 1997. Lämpö ja kosteus - rakennusfysiikka. Saarijärvi: Rakennustieto Oy.
- 32 Kuopion kulttuuriympäristö. Verkkodokumentti.
<<http://www.kulttuuriymparisto.kuopio.fi/kut/kulttuuristrategia.nsf/TD/010607131730545?OpenDocument&MenuItem=010607131742RK763>> Luettu 19.2.2014
- 33 Suunnittelu ja kehitys, H+H Finland Oy. 2009. Alapohjien elementtien korjaukset. Korjausohje.
- 34 Tikkurila Oy. Kivitalon maalausopas. Verkkodokumentti
<http://www.tikkurila.fi/files/5558/Tikkurila_opas_kivitalon_maalaus.pdf> Luettu 27.3.2014
- 35 Suomen Betoniyhdistys ry. 2007. BY41 Betonirakenteiden korjausohjeet 2007. Porvoo: Suomen Betonitieto Oy.
- 36 Tikkurila Oy. Verkkodokumentti.
<<http://www.tikkurila.fi/kotimaalarit/tuotteet/hydrosolipohjuste.14346.shtml>> Luettu 27.3.2014
- 37 Böhling, Harry. 2009. Yliopettaja. Metropolia Ammattikorkeakoulu, Helsinki. Rakenteiden mekaniikan kaavakokoelma.
- 38 SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. Verkkodokumentti.
<http://www.fuktsakerhet.se/sv/delar/tak/lattbetong/fukttek_bedomning/Sidor/default.aspx> Luettu 14.1.2014
- 39 RT 83-10662. 1998. Yläpohjan lisälämmöneristäminen - Korjausrakentaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 40 Åström, Gunnar (toim.). 2011. RIL 250-2011 Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. Saarijärvi: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y.
- 41 Oulun ammattikorkeakoulu. Verkkodokumentti.
<<http://www.tekniikka.oamk.fi/~kimmoi/talrakjatko/kosteus.ppt>> Luettu 17.2.2014

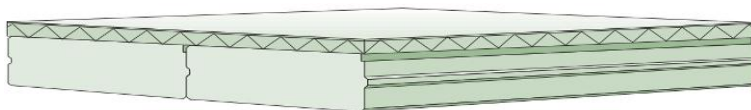
- 42 D.O.F tech Oy:n kotisivut. Verkkodokumentti.
<<http://www.dof.fi/www/index.php?lang=fin&page=proglampo>> Luettu 28.5.2014
- 43 Suomen Rakentamismääräyskokoelma. 2003. RakMK C4 Lämmöneristys, ohjeet. Verkkodokumentti. <<http://www.finlex.fi/data/normit/1931-C4s.pdf>> Luettu 28.3.2014

Tyypillisimmät yläpohjarakenteet

Tähän liitteeseen on kerätty yleisimpiä nykyään käytettyjä yläpohjarakenteita.

Yläpuolelta lisäeristetyyn tuulettamattoman massiivikaton rakenne ylhäältä alaspäin:

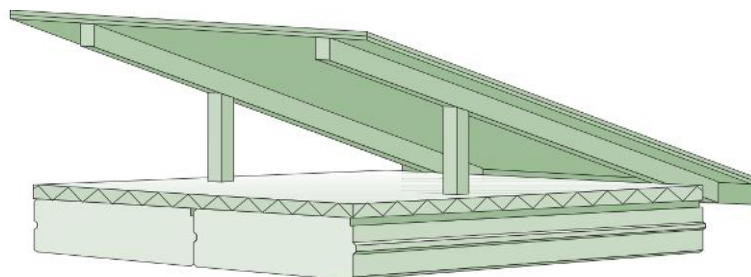
- vedeneriste
- alumiinipintainen PU-eristelevy 100 mm tai kova mineraalivilla 150 mm
- höyrynsulku
- kevytbetonielementti
- vesihöyryä läpäisevä pinnoite.



Kuva 1.1 Tuulettumaton yläpohjarakenne [3, s. G13].

Tuuletettu suora yläpohjarakenne ylhäältä alaspäin:

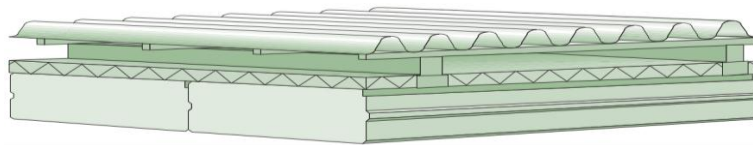
- vesikattorakenne
- vesikaton runkorakenne
- mineraalivilla
- kevytbetonielementti
- pintakäsittely.



Kuva 1.2 Tuuletettu suora yläpohjarakenne [3, s. G13].

Tuuletettu kalteva yläpohjarakenne ylhäältä alaspäin:

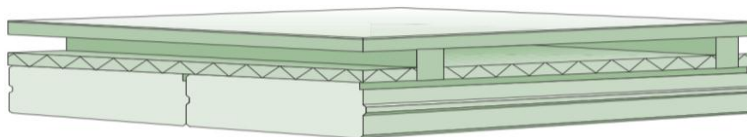
- kattotiilet
- ruoteet, esim. 50x50
- aluskatteen naulausrima, esim. 50x22 tai 100x22
- aluskate
- koolaus 50x100 k900-k1200 ja tuuletusrako
- mineraalivilla, kevytbetonikorokkeet villan läpi
- kevytbetonielementti
- pintakäsittely.



Kuva 1.3 Tuuletettu yläpohjarakenne [3, s. G13].

Tuuletettu kalteva yläpohjarakenne ylhäältä alaspäin:

- vedeneriste
- kevytbetonihuovanaluselementit
- tuuletusrako 75 mm
- mineraalivilla 75 mm
- kevytbetonikorokepalat 150 mm tuuletusraon ja mineraalivillan osalla
- kevytbetonielementti
- tiivis pintakäsittely.



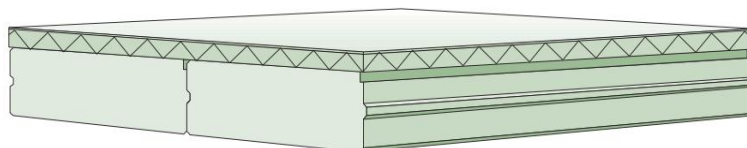
Kuva 1.4 Tuuletettu yläpohjarakenne [3, s. G13].

Tyypillisimmät alapohjarakenteet

Tähän liitteeseen on kerätty yleisimpiä nykyään käytettyjä alapohjarakenteita.

Yläpuolelta lämmöneristetty alapohjarakenne ylhäältä alaspäin:

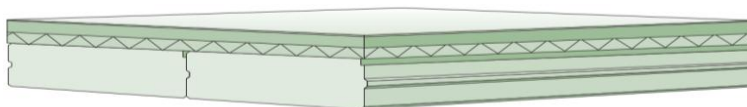
- lattiapäällyste
- pontattu lastulevy
- muovi
- eriste
- kevytbetonielementti
- tuuletettu ryömintätila.



Kuva 2.1 Yläpuolelta lämmöneristetty alapohjarakenne [3, s. G14].

Yläpuolelta lämmöneristetty alapohjarakenne ylhäältä alaspäin:

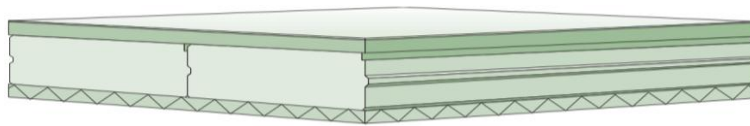
- lattiapäällyste
- verkotettu betoni
- muovi
- paperipintainen PU-eristelevy 80 mm
- kevytbetonielementti
- tuuletettu ryömintätila.



Kuva 2.2 Yläpuolelta lämmöneristetty alapohjarakenne [3, s. G14].

Alapuolelta lämmöneristetty alapohjarakenne ylhäältä alaspäin:

- lattiapäällyste
- verkotettu betoni
- kevytbetonielementti
- mineraalivilla
- tuuletettu ryömintätila.



Kuva 2.3 Alapuolelta lämmöneristetty alapohjarakenne [3, s. G14].

DOF-LÄMPÖ 2.2 -ohjelmalla saadut tulokset

Tähän liitteeseen on koottu DOF-LÄMPÖ 2.2 -ohjelmalla saadut tulokset siitä, miten eri eristemateriaalit eri paksuisina vaikuttavat massiivisen alapohjarakenteen lämpö- ja kosteuskäyttäytymiseen.

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Tutkittava rakenne	Ei lisälämmöneristystä	
Suunnittelija:	Päiväys:	Tunnus:
Krista Isosomppi	26.3.2014	AP00

<p>Rakenteen päätiedot:</p> <p>U-arvo: 0.485 W/m2K Paksuus: 250.000 mm Pinta-ala: 1.00 m2 Paino: 125.00 kg Hinta: 0.00 euro</p> <p>Vesihöyryn vastus: 2.248e+03 m2hPa/g Vesih. läpäisykerroin: 4.448e-04 g/m2hPa Lämmönvastus: 2.062 m2K/W Pintavastus, ulko: 0.040 m2K/W Pintavastus, sisä: 0.170 m2K/W Kulma (0-90): 0.000</p>	
--	--

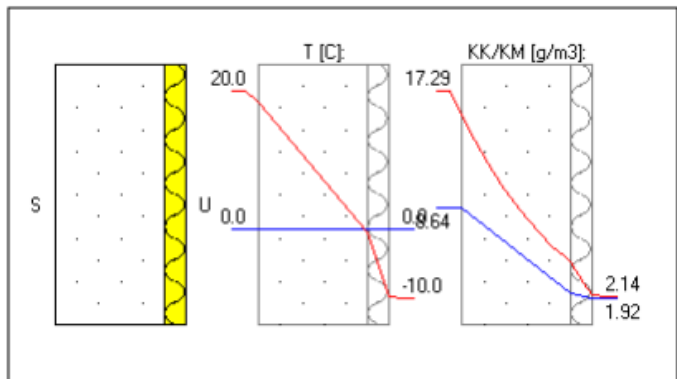
Rakenteen kerrostiedot:						Kerrokset sisältä (S) ulos (U)
KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:	
1 Höyrykarkaistu kevyt	250.00	0.1350	3.088889e-11	0.00	500.00	
T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys						

Lämpötilat ja kosteudet:					Tarkasteluhetki (0.0 h)	Lisätiedot:
Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:	
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00	
1	17.53	14.94	8.64	57.9	0.00	
2	-9.42	2.25	1.92	85.7	0.00	
U	-10.00	2.14	1.92	90.0	0.00	
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus						

Rakennuskohde: Tutkittava rakenne	Sisältö: Lisälämmöneristys alapuolella, mineraalivilla 50mm	
Suunnittelija: Krista Isosomppi	Päiväys: 26.3.2014	Tunnus: AP01

Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.337 W/m2K
Paksuus:	300.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m2
Paino:	132.75 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	2.380e+03 m2hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	4.201e-04 g/m2hPa
Lämmönvastus:	2.971 m2K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m2K/W
Pintavastus, sisä:	0.170 m2K/W
Kulma (0-90):	0.000



Rakenteen kerrostiedot:

Kerrokset sisältä (S) ulos (U)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1 Höyrykarkaistu kevyt	250.00	0.1350	3.088889e-11	0.00	500.00
2 Mineraalivilla	50.00	0.0550	1.050000e-10	0.00	155.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Tarkasteluhetki (0.0 h)

Lisätiedot:

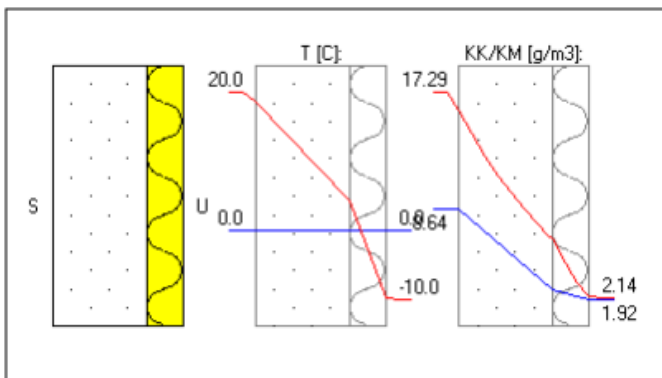
Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00
1	18.28	15.62	8.64	55.3	0.00
2	-0.42	4.69	2.30	49.0	0.00
3	-9.60	2.21	1.92	87.0	0.00
U	-10.00	2.14	1.92	90.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Rakennuskohde: Tutkittava rakenne	Sisältö: Lisälämmöneristys alapuolella, mineraalivilla 100m	
Suunnittelija: Krista Isosomppi	Päiväys: 26.3.2014	Tunnus: AP01a

Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.258 W/m2K
Paksuus:	350.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m2
Paino:	140.50 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	2.513e+03 m2hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	3.980e-04 g/m2hPa
Lämmönvastus:	3.880 m2K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m2K/W
Pintavastus, sisä:	0.170 m2K/W
Kulma (0-90):	0.000



Rakenteen kerrostiedot:

Kerrokset sisältä (S) ulos (U)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1 Höyrykarkaistu kevyt	250.00	0.1350	3.088889e-11	0.00	500.00
2 Mineraalivilla	100.00	0.0550	1.050000e-10	0.00	155.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Tarkasteluhetki (0.0 h)

Lisätiedot:

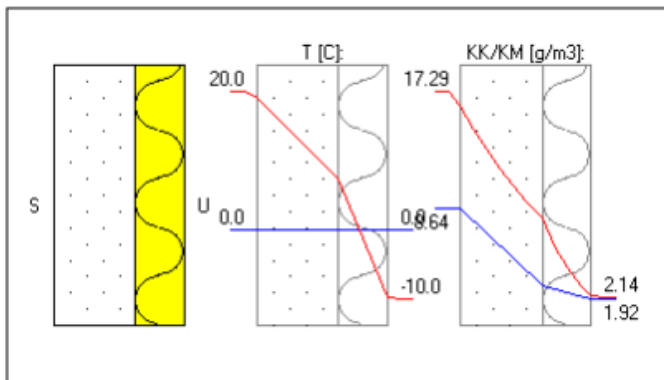
Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00
1	18.69	16.00	8.64	54.0	0.00
2	4.37	6.52	2.63	40.4	0.00
3	-9.69	2.19	1.92	87.7	0.00
U	-10.00	2.14	1.92	90.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Rakennuskohde: Tutkittava rakenne	Sisältö: Lisälämmöneristys alapuolella, mineraalivilla 150m	
Suunnittelija: Krista Isosomppi	Päiväys: 26.3.2014	Tunnus: AP01b

Rakenteen pää tiedot:

U-arvo:	0.209 W/m ² K
Paksuus:	400.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	148.25 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	2.645e+03 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	3.781e-04 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	4.789 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.170 m ² K/W
Kulma (0-90):	0.000



Rakenteen kerrostiedot:

Kerrokset sisältä (S) ulos (U)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Höyrykarkaistu kevyt	250.00	0.1350	3.088889e-11	0.00	500.00
2 Mineraalivilla	150.00	0.0550	1.050000e-10	0.00	155.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Tarkasteluhetki (0.0 h)

Lisätiedot:

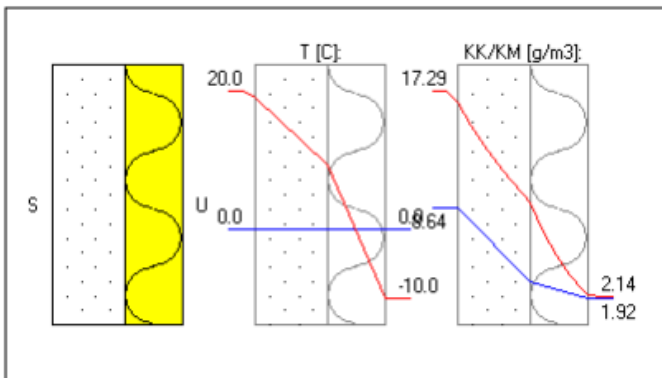
Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00
1	18.94	16.24	8.64	53.2	0.00
2	7.33	7.92	2.93	37.0	0.00
3	-9.75	2.18	1.92	88.1	0.00
U	-10.00	2.14	1.92	90.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Rakennuskohde: Tutkittava rakenne	Sisältö: Lisälämmöneristys alapuolella, mineraalivilla 200m	
Suunnittelija: Krista Isosomppi	Päiväys: 26.3.2014	Tunnus: AP01c

Rakenteen pää tiedot:

U-arvo:	0.175 W/m ² K
Paksuus:	450.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	156.00 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	2.777e+03 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	3.601e-04 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	5.698 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.170 m ² K/W
Kulma (0-90):	0.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset sisältä (S) ulos (U)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Höyrykarkaistu kevyt	250.00	0.1350	3.088889e-11	0.00	500.00
2 Mineraalivilla	200.00	0.0550	1.050000e-10	0.00	155.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:**Tarkasteluhetki (0.0 h)****Lisätiedot:**

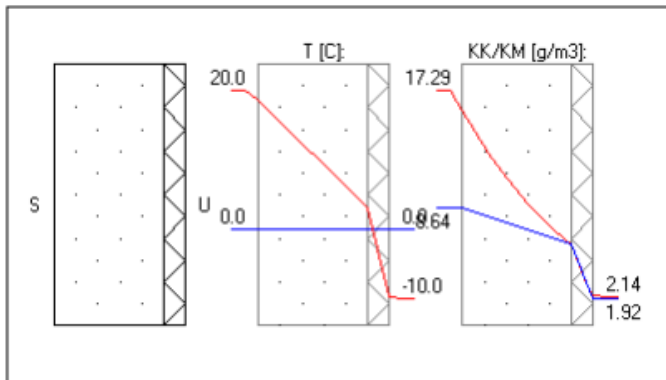
Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00
1	19.10	16.40	8.64	52.7	0.00
2	9.36	9.02	3.20	35.5	0.00
3	-9.79	2.18	1.92	88.4	0.00
U	-10.00	2.14	1.92	90.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Rakennuskohde: Tutkittava rakenne	Sisältö: Lisälämmöneristys alapuolella, EPS 50mm	
Suunnittelija: Krista Isosomppi	Päiväys: 26.3.2014	Tunnus: AP02

Rakenteen pää tiedot:

U-arvo:	0.280 W/m ² K
Paksuus:	300.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	127.25 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	5.627e+03 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	1.777e-04 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	3.577 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.170 m ² K/W
Kulma (0-90):	0.000



Rakenteen kerrostiedot: Kerrokset sisältä (S) ulos (U)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Höyrykarkaistu kevyt	250.00	0.1350	3.088889e-11	0.00	500.00
2 Solumuovilevy EPS 45	50.00	0.0330	4.111111e-12	0.00	45.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet: Tarkasteluhetki (0.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00
1	18.57	15.90	8.64	54.4	0.00
2	3.04	5.96	5.96	99.9	0.00
3	-9.66	2.20	1.92	87.5	0.00
U	-10.00	2.14	1.92	90.0	0.00

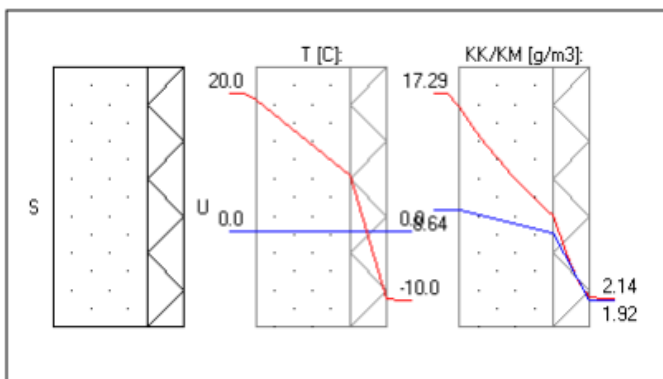
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Lisätiedot:

Rakennuskohde: Tutkittava rakenne	Sisältö: Lisälämmöneristys alapuolella, EPS 100mm	
Suunnittelija: Krista Isosomppi	Päiväys: 26.3.2014	Tunnus: AP02a

Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.196 W/m ² K
Paksuus:	350.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	129.50 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	9.005e+03 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	1.110e-04 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	5.092 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.170 m ² K/W
Kulma (0-90):	0.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset sisältä (S) ulos (U)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Höyrykarkaistu kevyt	250.00	0.1350	3.088889e-11	0.00	500.00
2 Solumuovilevy EPS 45	100.00	0.0330	4.111111e-12	0.00	45.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Tarkasteluhetki (0.0 h)

Lisätiedot:

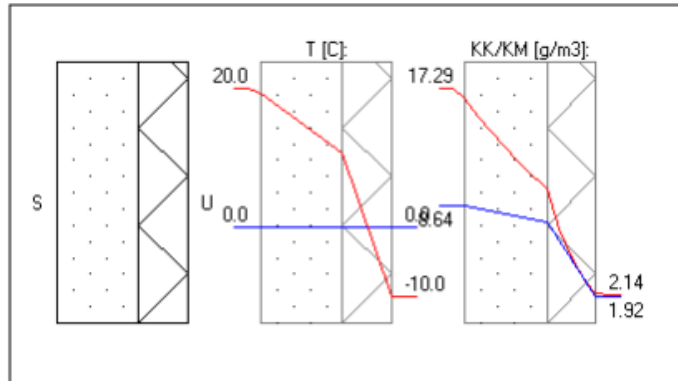
Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00
1	19.00	16.30	8.64	53.0	0.00
2	8.09	8.32	6.97	83.7	0.00
3	-9.76	2.18	1.92	88.2	0.00
U	-10.00	2.14	1.92	90.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Rakennuskohde: Tutkittava rakenne	Sisältö: Lisälämmöneristys alapuolella, EPS 150mm	
Suunnittelija: Krista Isosomppi	Päiväys: 26.3.2014	Tunnus: AP02b

Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.151 W/m ² K
Paksuus:	400.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	131.75 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	1.238e+04 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	8.075e-05 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	6.607 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.170 m ² K/W
Kulma (0-90):	0.000



Rakenteen kerrostiedot:

Kerrokset sisältä (S) ulos (U)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Höyrykarkaistu kevyt	250.00	0.1350	3.088889e-11	0.00	500.00
2 Solumuovilevy EPS 45	150.00	0.0330	4.111111e-12	0.00	45.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Tarkasteluhetki (0.0 h)

Lisätiedot:

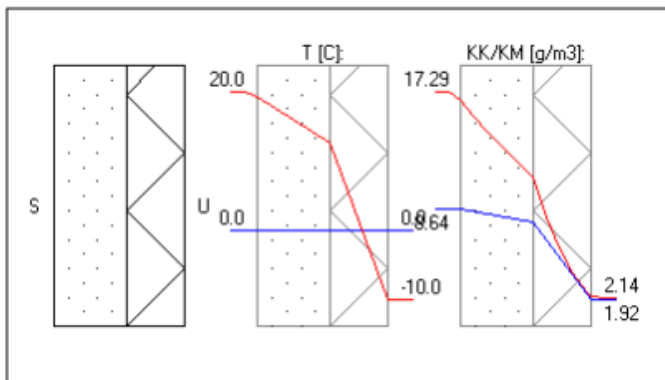
Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00
1	19.23	16.52	8.64	52.3	0.00
2	10.82	9.90	7.42	75.0	0.00
3	-9.82	2.17	1.92	88.6	0.00
U	-10.00	2.14	1.92	90.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Rakennuskohde: Tutkittava rakenne	Sisältö: Lisälämmöneristys alapuolella, EPS 200mm	
Suunnittelija: Krista Isosomppi	Päiväys: 26.3.2014	Tunnus: AP02c

Rakenteen päätiiedot:

U-arvo:	0.123 W/m ² K
Paksuus:	450.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	134.00 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	1.576e+04 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	6.344e-05 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	8.122 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.170 m ² K/W
Kulma (0-90):	0.000



Rakenteen kerrostiedot:

Kerrokset sisältä (S) ulos (U)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [€/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Höyrykarkaistu kevyt	250.00	0.1350	3.088889e-11	0.00	500.00
2 Solumuovilevy EPS 45	200.00	0.0330	4.111111e-12	0.00	45.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Tarkasteluhetki (0.0 h)

Lisätiedot:

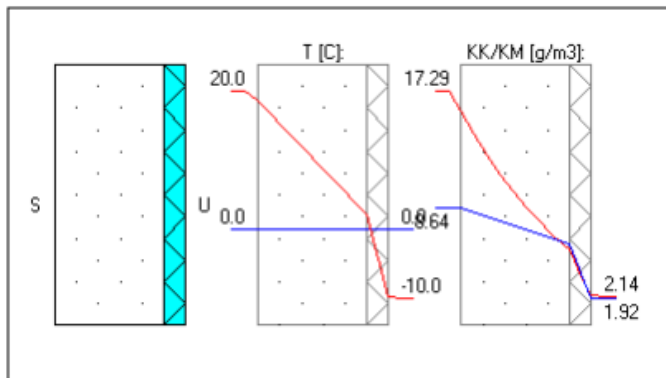
Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00
1	19.37	16.66	8.64	51.9	0.00
2	12.53	11.02	7.68	69.7	0.00
3	-9.85	2.16	1.92	88.9	0.00
U	-10.00	2.14	1.92	90.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Rakennuskohde: Tutkittava rakenne	Sisältö: Lisälämmöneristys alapuolella, XPS 50mm	
Suunnittelija: Krista Isosomppi	Päiväys: 26.3.2014	Tunnus: AP03

Rakenteen pää tiedot:

U-arvo:	0.293 W/m ² K
Paksuus:	300.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	126.67 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	5.627e+03 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	1.777e-04 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	3.413 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.170 m ² K/W
Kulma (0-90):	0.000



Rakenteen kerrostiedot:

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Höyrykarkaistu kevyt	250.00	0.1350	3.088889e-11	0.00	500.00
2 Solumuovilevy XPS, p	50.00	0.0370	4.111111e-12	0.00	33.50

Kerrokset sisältä (S) ulos (U)

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00
1	18.51	15.83	8.64	54.6	0.00
2	2.23	5.65	5.96	100.0	0.00
3	-9.65	2.20	1.92	87.3	0.00
U	-10.00	2.14	1.92	90.0	0.00

Tarkastelu hetki (0.0 h)

Lisätiedot:

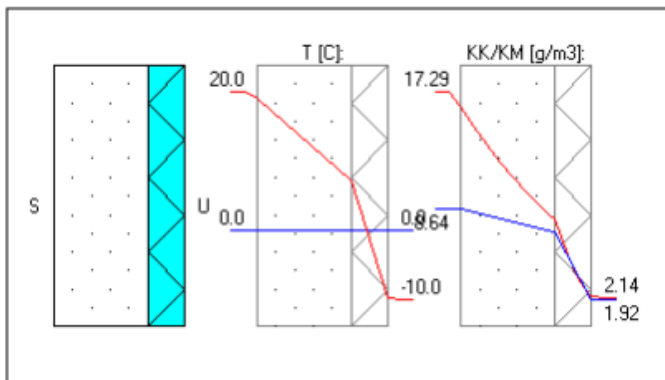
Tiivistymisvaara! (SK_max = 100.0 %)

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Rakennuskohde: Tutkittava rakenne	Sisältö: Lisälämmöneristys alapuolella, XPS 100mm	
Suunnittelija: Krista Isosomppi	Päiväys: 26.3.2014	Tunnus: AP03a

Rakenteen päätiiedot:

U-arvo:	0.210 W/m ² K
Paksuus:	350.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	128.35 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	9.005e+03 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	1.110e-04 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	4.765 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.170 m ² K/W
Kulma (0-90):	0.000



Rakenteen kerrostiedot:

Kerrokset sisältä (S) ulos (U)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Höyrykarkaistu kevyt	250.00	0.1350	3.088889e-11	0.00	500.00
2 Solumuovilevy XPS, p	100.00	0.0370	4.111111e-12	0.00	33.50

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Tarkasteluhetki (0.0 h)

Lisätiedot:

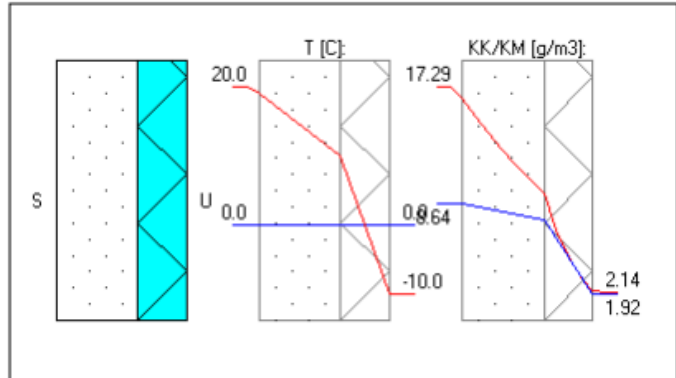
Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00
1	18.93	16.23	8.64	53.2	0.00
2	7.27	7.89	6.97	88.3	0.00
3	-9.75	2.18	1.92	88.1	0.00
U	-10.00	2.14	1.92	90.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Rakennuskohde: Tutkittava rakenne	Sisältö: Lisälämmöneristys alapuolella, XPS 150mm	
Suunnittelija: Krista Isosomppi	Päiväys: 26.3.2014	Tunnus: AP03b

Rakenteen päätiiedot:

U-arvo:	0.164 W/m ² K
Paksuus:	400.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	130.03 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	1.238e+04 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	8.075e-05 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	6.116 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.170 m ² K/W
Kulma (0-90):	0.000



Rakenteen kerrostiedot:

Kerrokset sisältä (S) ulos (U)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Höyrykarkaistu kevyt	250.00	0.1350	3.088889e-11	0.00	500.00
2 Solumuovilevy XPS, p	150.00	0.0370	4.111111e-12	0.00	33.50

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Tarkasteluhetki (0.0 h)

Lisätiedot:

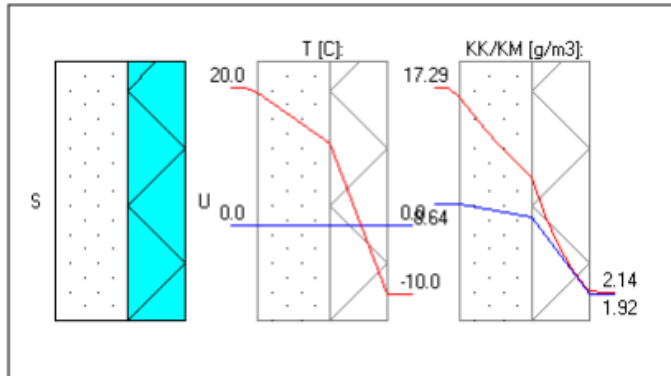
Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00
1	19.17	16.46	8.64	52.5	0.00
2	10.08	9.45	7.42	78.6	0.00
3	-9.80	2.17	1.92	88.5	0.00
U	-10.00	2.14	1.92	90.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Rakennuskohde: Tutkittava rakenne	Sisältö: Lisälämmöneristys alapuolella, XPS 200mm	
Suunnittelija: Krista Isosomppi	Päiväys: 26.3.2014	Tunnus: AP03c

Rakenteen pää tiedot:

U-arvo:	0.134 W/m ² K
Paksuus:	450.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	131.70 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	1.576e+04 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	6.344e-05 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	7.467 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.170 m ² K/W
Kulma (0-90):	0.000



Rakenteen kerrostiedot:

Kerrokset sisältä (S) ulos (U)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Höyrykarkaistu kevyt	250.00	0.1350	3.088889e-11	0.00	500.00
2 Solumuovilevy XPS, p	200.00	0.0370	4.111111e-12	0.00	33.50

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Tarkasteluhetki (0.0 h)

Lisätiedot:

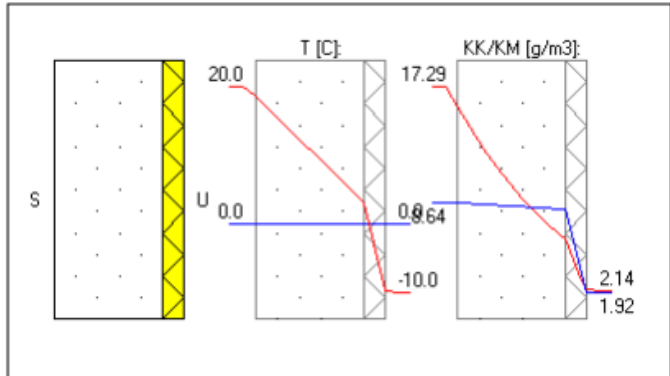
Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00
1	19.32	16.61	8.64	52.0	0.00
2	11.88	10.58	7.68	72.6	0.00
3	-9.84	2.17	1.92	88.8	0.00
U	-10.00	2.14	1.92	90.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Rakennuskohde: Tutkittava rakenne	Sisältö: Lisälämmöneristys alapuolella, PU 50mm	
Suunnittelija: Krista Isosomppi	Päiväys: 26.3.2014	Tunnus: AP04

Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.280 W/m ² K
Paksuus:	300.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	127.25 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	2.856e+04 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	3.501e-05 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	3.577 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.170 m ² K/W
Kulma (0-90):	0.000



Rakenteen kerrostiedot:

Kerrokset sisältä (S) ulos (U)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Höyrykarkaistu kevyt	250.00	0.1350	3.088889e-11	0.00	500.00
2 Solumuovi PU, ponnea	50.00	0.0330	5.277778e-13	0.00	45.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Tarkasteluhetki (0.0 h)

Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00
1	18.57	15.90	8.64	54.4	0.00
2	3.04	5.96	8.11	100.0	0.00
3	-9.66	2.20	1.92	87.5	0.00
U	-10.00	2.14	1.92	90.0	0.00

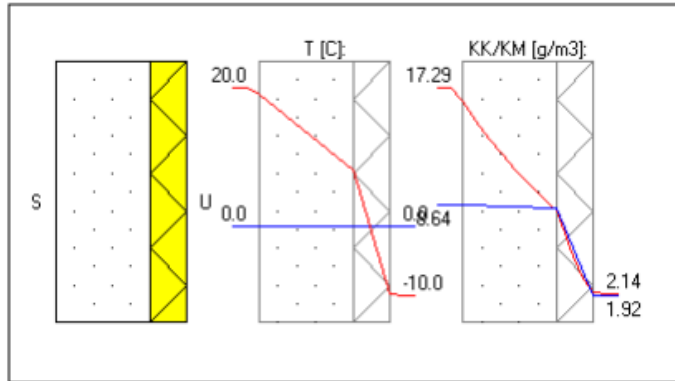
Tiivistymisvaara! (SK_max = 100.0 %)

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Rakennuskohde: Tutkittava rakenne	Sisältö: Lisälämmöneristys alapuoella, PU 100mm	
Suunnittelija: Krista Isosomppi	Päiväys: 26.3.2014	Tunnus: AP04a

Rakenteen päätiiedot:

U-arvo:	0.196 W/m ² K
Paksuus:	350.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	129.50 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	5.488e+04 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	1.822e-05 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	5.092 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.170 m ² K/W
Kulma (0-90):	0.000



Rakenteen kerrostiedot:

Kerrokset sisältä (S) ulos (U)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Höyrykarkaistu kevyt	250.00	0.1350	3.088889e-11	0.00	500.00
2 Solumuovi PU, ponnea	100.00	0.0330	5.277778e-13	0.00	45.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Tarkasteluhetki (0.0 h)

Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00
1	19.00	16.30	8.64	53.0	0.00
2	8.09	8.32	8.37	100.0	0.00
3	-9.76	2.18	1.92	88.2	0.00
U	-10.00	2.14	1.92	90.0	0.00

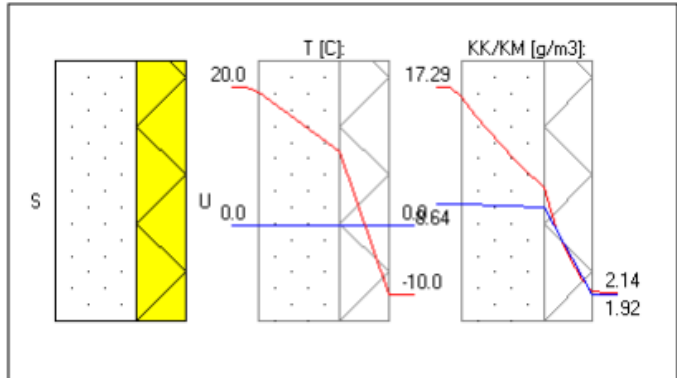
Tiivistymisvaara! (SK_max = 100.0 %)

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Rakennuskohde: Tutkittava rakenne	Sisältö: Lisälämmöneristys alapuolella, PU 150mm	
Suunnittelija: Krista Isosomppi	Päiväys: 26.3.2014	Tunnus: AP04b

Rakenteen pää tiedot:

U-arvo:	0.151 W/m ² K
Paksuus:	400.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	131.75 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	8.120e+04 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	1.232e-05 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	6.607 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.170 m ² K/W
Kulma (0-90):	0.000



Rakenteen kerrostiedot:

Kerrokset sisältä (S) ulos (U)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Höyrykarkaistu kevyt	250.00	0.1350	3.088889e-11	0.00	500.00
2 Solumuovi PU, ponnea	150.00	0.0330	5.277778e-13	0.00	45.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Tarkasteluhetki (0.0 h)

Lisätiedot:

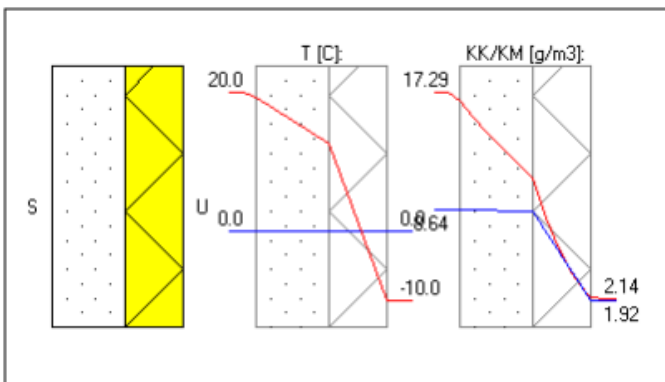
Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00
1	19.23	16.52	8.64	52.3	0.00
2	10.82	9.90	8.46	85.4	0.00
3	-9.82	2.17	1.92	88.6	0.00
U	-10.00	2.14	1.92	90.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Rakennuskohde: Tutkittava rakenne	Sisältö: Lisälämmöneristys alapuolella, PU 200mm	
Suunnittelija: Krista Isosomppi	Päiväys: 26.3.2014	Tunnus: AP04c

Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.123 W/m ² K
Paksuus:	450.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	134.00 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	1.075e+05 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	9.301e-06 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	8.122 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.170 m ² K/W
Kulma (0-90):	0.000



Rakenteen kerrostiedot:

Kerrokset sisältä (S) ulos (U)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Höyrykarkaistu kevyt	250.00	0.1350	3.088889e-11	0.00	500.00
2 Solumuovi PU, ponnea	200.00	0.0330	5.277778e-13	0.00	45.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Tarkasteluhetki (0.0 h)

Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00
1	19.37	16.66	8.64	51.9	0.00
2	12.53	11.02	8.50	77.2	0.00
3	-9.85	2.16	1.92	88.9	0.00
U	-10.00	2.14	1.92	90.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus