



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Anniina Sulkava

KOSTEUS VEDENPAINELLISISSA KELLARIRAKENTEISSA

Tekniikka
2017

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Anniina Sulkava
Opinnäytetyön nimi	Kosteus vedenpaineellisissa kellarirakenteissa
Vuosi	2017
Kieli	suomi
Sivumäärä	44 + 22 liitettä
Ohjaaja	Heikki Paananen

Vedenpaineellisten kellarirakenteiden suunnittelu on erityisen vaativaa, sillä rakentaminen pohjavedenpinnan alapuolelle aiheuttaa rakenteeseen muiden rasitusten lisäksi vedenpaineen. Opinnäytetyössä paneudutaan teräsbetonisten vedenpaineellisten kellarirakenteiden kosteusteknisessä suunnittelussa huomioitaviin tekijöihin, niin teorian kuin käytännönkin tasolla.

Suomessa toteutettavia teräsbetonirakentamisen ohjeita ja määräyksiä kokoavat muun muassa Ympäristöministeriö sekä Suomen standardisoimisliitto. Opinnäytetyön kirjallisuutena käytetään näiden lisäksi rakennusalan liittojen ja yhdistysten tuottamaa materiaalia. Työssä toteutetaan teoreettisen osion lisäksi kosteusteknisiiä laskelmia rakennetyypeille erilaisissa olosuhteissa DOFtech-ohjelmalla.

Tällaisten vaativien rakenteiden huolellisella kosteusteknisellä suunnittelulla voidaan saavuttaa kestävä toimivat kellarirakenteet. Erityishuomioita vaativat maaperässä ja sisätilassa vallitsevat olosuhteet, joiden perusteellisella tarkastelulla taataan onnistumisen edellytykset.

ABSTRACT

Author	Annina Sulkava
Title	Moisture in Basement Structures with Water Pressure
Year	2017
Language	Finnish
Pages	44 + 22 Appendices
Name of Supervisor	Heikki Paananen

Designing basement structures with water pressure is highly demanding, because building under groundwater surface causes water pressure to the structure among other stresses. In this thesis the most important subjects in basement structures made of reinforced concrete with water pressure are studied through theory and practice.

In Finland directives and regulations are collected by for example the Ministry of the Environment and the Finnish Standards Association. Literature from these organizations and that of other associations and organization material was used in the thesis. Moisture calculations with DOFtech software were made for various structure types in different conditions.

By designing the moisture functions of these very demanding structures carefully, durable and functioning structures can be achieved. Conditions in the ground and interior need special attention and with careful overall moisture designing, success is assured.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KÄSITELUETTELO

1	JOHDANTO	11
2	VEDENPAINELLISEN KELLARIRAKENTEEN MÄÄRITTELY.....	12
3	KOSTEUDEN SIIRTYMINEN	13
	3.1 Diffuusio	13
	3.2 Konvektio.....	14
	3.3 Kapillaarinen liike.....	14
4	KOSTEUS KELLARIRAKENTEESSA.....	16
	4.1 Kosteuden vaikutukset rakenteessa.....	16
	4.1.1 Raudotteiden korrosio	16
	4.1.2 Pakkasrapautuminen.....	17
	4.2 Kellaritilan käyttötarkoituksen vaikutus kosteusrasitukseen	18
	4.3 Rakennusympäristön vaikutus kosteusrasitukseen.....	19
5	KOSTEUDEN VÄLTTÄMINEN RAKENTEESSA	20
	5.1 Vedeneristys.....	21
	5.1.1 Bitumikermi vedenpaineeneristeenä	22
	5.1.2 Bentoniittieriste vedenpaineeneristeenä.....	23
	5.1.3 Massaeriste vedenpaineeneristeenä	23
	5.1.4 Vesitiivis betoni.....	23
	5.1.5 Vesitiivisyys halkeamamitoituksen näkökulmasta	25
	5.2 Vedenpoisto	28
	5.3 Maalajien ominaisuuksien hyödyntäminen.....	29
	5.4 Kellaritilan ilmanvaihto	30
6	ELINKAAREN HUOMIOIMINEN HOIDON JA HUOLLON NÄKÖKULMASTA	31

7	TYYPPIRAKENTEIDEN KOSTEUSKÄYTTÄYTYMISEN	
	LASKENTATARKASTELU.....	33
7.1	Vesitiivis betoni	34
7.2	Vesitiivis betoni ja bitumi	36
7.3	Vesitiivis betoni ja bentoniitti	38
8	LASKENTATARKASTELUIDEN ANALYSOINTI	41
9	YHTEENVETO	44
	LÄHTEET	45

LIITTEET

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Tapoja kosteuden pääsyn estämiseen rakenteeseen.	20
Kuva 2. Vesitiivis betonirakenne ilman erillistä vedenpaineeneristystä.	25
Kuva 3. Vuototila hyödyntäen kalliota.	29
Taulukko 1. Bitumikermien valinta riippuen vedenpaineesta.	22
Taulukko 2. Rasitusluokat.	25
Taulukko 3. Tiiviysluokitus.	26
Taulukko 4. Sisä- ja ulkopuolinen pintavastus R_{si} ja R_{se} .	32
Taulukko 5. DOF-Lämpö-laskelmien tuloksia.	40

LIITELUETTELO

LIITE 1. Vesitiivis betoni 300 mm (maaperässä RH 100 %, +4.8°C ja sisätilassa RH 40 %, +20°C)

LIITE 2. Vesitiivis betoni 300 mm (maaperässä RH 100 %, +4.8°C ja sisätilassa RH 35 %, +20°C)

LIITE 3. Vesitiivis betoni 300 mm (maaperässä RH 100 %, +4.8°C ja sisätilassa RH 70 %, +20°C)

LIITE 4. Vesitiivis betoni 300 mm (maaperässä RH 100 %, +4.8°C ja sisätilassa RH 70 %, +15°C)

LIITE 5. Vesitiivis betoni 400 mm (maaperässä RH 100 %, +4.8°C ja sisätilassa RH 70 %, +15°C)

LIITE 6. Vesitiivis betoni 250 mm (maaperässä RH 100 %, +4.8°C ja sisätilassa RH 70 %, +15°C)

LIITE 7. Vesitiivis betoni 300 mm + bitumikermi ulkopuolella (maaperässä RH 100 %, +4.8°C ja sisätilassa RH 40 %, +20°C)

LIITE 8. Vesitiivis betoni 300 mm + bitumikermi ulkopuolella (maaperässä RH 100 %, +4.8°C ja sisätilassa RH 35 %, +20°C)

LIITE 9. Vesitiivis betoni 300 mm + bitumikermi ulkopuolella (maaperässä RH 100 %, +4.8°C ja sisätilassa RH 50 %, +20°C)

LIITE 10. Vesitiivis betoni 300 mm + bitumikermi ulkopuolella (maaperässä RH 100 %, +4.8°C ja sisätilassa RH 70 %, +20°C)

LIITE 11. Vesitiivis betoni 300 mm + bitumikermi ulkopuolella (maaperässä RH 100 %, +4.8°C ja sisätilassa RH 70 %, +15°C)

LIITE 12. Vesitiivis betoni 300 mm + bitumikermi ulkopuolella (maaperässä RH 100 %, +4.8°C ja sisätilassa RH 80 %, +15°C)

LIITE 13. Vesitiivis betoni 300 mm + bitumikermi ulkopuolella (maaperässä RH 100 %, +15°C ja sisätilassa RH 70 %, +15°C)

LIITE 14. Vesitiivis betoni 300 mm + bitumikermi ulkopuolella (maaperässä RH 100 %, +15°C ja sisätilassa RH 50 %, +20°C)

LIITE 15. Vesitiivis betoni 300 mm + bentoniittimatto ulkopuolella (maaperässä RH 100 %, +4.8°C ja sisätilassa RH 40 %, +20°C)

LIITE 16. Vesitiivis betoni 300 mm + bentoniittimatto ulkopuolella (maaperässä RH 100 %, +4.8°C ja sisätilassa RH 35 %, +20°C)

LIITE 17. Vesitiivis betoni 300 mm + bentoniittimatto ulkopuolella (maaperässä RH 100 %, +4.8°C ja sisätilassa RH 50 %, +20°C)

LIITE 18. Vesitiivis betoni 300 mm + bentoniittimatto ulkopuolella (maaperässä RH 100 %, +4.8°C ja sisätilassa RH 70 %, +20°C)

LIITE 19. Vesitiivis betoni 300 mm + bentoniittimatto ulkopuolella (maaperässä RH 100 %, +4.8°C ja sisätilassa RH 70 %, +15°C)

LIITE 20. Vesitiivis betoni 300 mm + bentoniittimatto ulkopuolella (maaperässä RH 100 %, +4.8°C ja sisätilassa RH 80 %, +15°C)

LIITE 21. Vesitiivis betoni 300 mm + bentoniittimatto ulkopuolella (maaperässä RH 100 %, +15°C ja sisätilassa RH 70 %, +15°C)

LIITE 22. Vesitiivis betoni 300 mm + bentoniittimatto ulkopuolella (maaperässä RH 100 %, +15°C ja sisätilassa RH 50 %, +20°C)

KÄSITELUETTELO

Maanvastainen	Maata vasten oleva rakennusosa, riippumatta siitä ja- kaako rakennusosa kuormia maarakenteelle. /6/
Mitoittava pohjavedenpinta	Suunnittelussa lähtötietona käytettävä pohjaveden- pinnan korkeus. Selvitettävä aluekohtaisesti ennen suunnittelua. Huomioitava myös pohjavedenpinnan vaihtelut. /7/
Vesihöyryn osa-paine	Paine, jonka aiheuttaa ilman sisältämä vesihöyry. [Pa] /4/
Vesihöyrymäärä	Absoluuttinen kosteus. Ilman sisältämän vesihöyryn määrä. [kg/m ³] /6/
Kyllästyspaine	Suurin paine, jonka vesihöyry voi saada aikaan tie- tyssä lämpötilassa. Kyllästyspaine on suoraan ver- rannollinen lämpötilaan. [Pa] /4/
Suhteellinen kosteus	Tietyissä lämpötilassa oleva ilman vesihöyryn osa- paineen suhde kyseessä olevan lämpötilan vastaa- vaan vesihöyryn kyllästyspaineeseen. Suhteellinen kosteus ei voi olla yli 100%. [%] /4/
Kyllästyskosteus	Tila, jossa ilman suhteellinen kosteus on 100%, eli ilma sisältää enimmäismäärän vesihöyryä. Kyllästys- kosteus on suoraan yhteydessä kyllästyspaineeseen. [kg/m ³] /4/
Kondensoituminen	Vesihöyryn tiivistyminen vedeksi. Tiivistyminen voi tapahtua, kun suhteellinen kosteus on 100%. /4/
Vesihöyrynläpäisevyys	Aineen ominaisuus päästää lävitseen vesihöyryä jat- kuvuustilassa. [kg/msPa] /4/

Vesihöyrynvastus	Aineen vesihöyryn virtausta jatkuvuustilassa vastustava ominaisuus. Voidaan ajatella myös käänteisenä suurena vesihöyrynläpäisevyydelle. [$\text{m}^2\text{sPa/kg}$] /4/
Lämmönjohtavuus	Aineen kyky johtaa lämpöä, eli lämpövirran tiheys jatkuvuustilassa pituusyksikön paksuisen ainekerroksen läpi, kun lämpötilaero ainekerroksen pintojen välillä on yksikön suuruinen. [W/mK] /4/
Lämmönvastus	Lämpöjatkuvuustilassa olevan tasapaksuisen ainekerroksen tai kerroksellisen rakenteen ominaisuus, joka ilmoittaa rakenteen eri puolilla olevien lämpötilallisesti tasapainotilassa olevien pintojen lämpötilaeron ja ainekerroksen läpi kulkevan lämpövirran tiheyden suhteen. [$\text{m}^2\text{K/W}$] /4/
Jatkuvuustila	Tila, jossa systeemiin tulee ja sieltä poistuu vakio määrä ainetta ja lämpöenergiaa samassa ajassa. Tämä tarkoittaa tasapainotilaa, jossa aineiden pitoisuudet eivät muutu ajan kuluessa. Voidaan kutsua myös stationääritilaksi. /6/
Sisä- ja ulkopuolinen pinnanvastus	Rakennusosan pinnan ja sisä- tai ulkopuolisen ympäristön välisen rajakerroksen lämmönvastus, eli rakenteen eri puolilla olevien pintojen lämpötilaeron ja ainekerroksen läpi kulkeva lämpövirta suhteessa tiheyteen. [$\text{m}^2\text{K/W}$] /4/

1 JOHDANTO

Pohjavedenpinnan korkeus vaihtelee alueittain ja on riippuvainen sääolosuhteista, eikä pohjavedenpinnan korkeus aina ole ideaali rakentamisen näkökulmasta. Näihin olosuhteisiin on kuitenkin tilanteen vaatiessa mukauduttava. Rakennettaessa rakenteita pohjavedenpinnan alapuolelle, ovat kosteusolosuhteet hyvinkin vaativat. Tämän vuoksi näiden rakenteiden kosteuskäyttäytymistä on tärkeää tarkastella niin laskennallisesti kuin teoreettisestakin näkökulmasta.

Opinnäytetyö, vedenpaineellisten kellarirakenteiden kosteusteknisen toimivuuden tarkastelu on toteutettu Helsingin toimipisteen Sweco Rakennetekniikka Oy:lle. Sweco Rakennetekniikka Oy:n palvelun rakennesuunnitelmat kattavat kaikki rakennesuunnittelun osa-alueet, kohdetyypit ja materiaalit. Sweco Rakennetekniikka Oy on Suomen markkinajohtaja rakennesuunnittelussa.

Työssä tutkitaan kosteuden esiintymismuotoja, siirtymistapoja ja aiheuttamia riskituksia vedenpaineellisissa kellarirakenteissa. Teoriatasolla paneudutaan myös tapoihin, joilla vedenpaineen aiheuttaman kosteuden voi välttää rakenteessa. On olemassa tyypillisiä rakenteita, joilla vedenpaineen alaiset rakenteet toteutetaan. Näitä tyyppirakenteita tarkastellaan tarkemmin laskennallisesti hyödyntäen erilaisia kosteus- ja lämpöolosuhteita DOFtechin DOF-Lämpö-ohjelmalla. DOF-Lämpö-ohjelmalla voidaan laskea yksinkertaistetulla tavalla lämpötilan ja suhteellisen kosteuden jakaumat rakenteessa ja hyödyntää tietoja rakenteen eri osissa olevien kosteuspitoisuuksien tarkasteluun.

Hyödynnettäessä sekä laskennallisia kosteustarkasteluja että teoriaosuuden toimintatapoja, voidaan selvittää tärkeimpiä ohjenuoria vedenpaineellisten kellarirakenteiden suunnittelulle kosteuden näkökulmasta. Opinnäytetyön tavoitteena on olla yhtenäinen teos, joka kokoaa kyseessä olevien rakenteiden kosteusteknisessä suunnittelussa huomioitavat asiat perustellusti.

2 VEDENPAINEELLISEN KELLARIRAKENTEEN MÄÄRITTELY

Kellarirakenteet ovat rakenteita, jotka sijaitsevat kokonaisuudessaan tai suurimmaksi osaksi maanpinnan alapuolella. Kellarikerrokseksi voidaan määritellä kerros, joka on maanpinnan alapuolella, eikä yleisesti ole käyttötarkoitukseltaan asuin- tai liiketila. /1/ Kellarirakenne koostuu maanvastaisesta alapohjasta sekä maanvastaisista pystysuorista seinärakenteista ja on pääsääntöisesti teräsbetonia /2/.

Kellarirakenteisiin vaikuttava vedenpaine syntyy pohjavedenpinnan ollessa rakenteita korkeammalla /3/. Pohjavesi on vettä, joka pysyy jatkuvasti maanpinnan alla maaperässä tai kalliossa. Pohjavettä syntyy, kun pintavesistä, kuten vesistöt ja sadevesi, vettä imeytyy maaperään. Pohjaveden pinnan syvyys on riippuvainen olosuhteista ja maantieteellisestä sijainnista. Syvyyteen vaikuttavat esimerkiksi vuotuinen sademäärä sekä yhdyskuntatekniikan ratkaisut. /4/ Pohjaveden pinnan alapuolella oleva paine syntyy painovoiman aiheuttamasta putoamiskiiltävyydestä, joka aiheuttaa pohjavedelle tarpeen painautua alaspäin. Tällaista vedenpainetta kutsutaan hydrostaattiseksi paineeksi. Hydrostaattinen paine jakautuu tasaisesti vaikutusalueellaan, mutta kuitenkin mitä syvemmällä pohjaveden pinnasta ollaan, sitä suurempi hydrostaattinen painekin on. /3/

Pohjaveden pinnan korkeus tulee huomioida pohjarakentamisessa määrittäessä rakennuksen perustamissyvyyttä tai kellarirakenteiden korkeudellista sijaintia /4/. Pohjaveden pinnan keskimääräinen taso sekä sen mahdollisten vaihteluiden raja-arvot on selvitettävä pohjatutkimuksen yhteydessä, jotta suunnittelu ja rakentaminen voidaan toteuttaa tarkoituksenmukaisesti. Huolellisen selvityksen tärkeys korostuu, kun suunnitellaan rakennusta, jonka pohjarakenteiden oletetaan ulottuvan pohjaveden pinnan alapuolelle. Pohjaveden pinnan vaihteluita saattaa esiintyä esimerkiksi ranta-alueilla ja vesistöjen lähellä, jossa maaperään siirtyneen pintaveden määrä vaihtelee suuresti. /5/

3 KOSTEUDEN SIIRTYMINEN

Kosteudeksi voidaan sanoa vettä sen kolmessa kemiallisesti sitoutumattomassa eri olomuodossa, joita ovat kiinteä (jää), kaasu (vesihöyry) sekä neste (vesi). Kaikissa olomuodoissaan vesi toimii erilaisin kosteusrasituksin horjuttaen rakenteiden kosteusteknistä tasapainoa. Kosteutta esiintyy rakenteissa näkyvänä vetenä, vesihöyrynä tai rakennekosteutena, joka on sitoutuneena rakenteisiin. /4/ Rakenteisiin vaikuttavia kosteusrasituksia voi syntyä sekä ulko- että sisäpuolelta rakennetta. Ulkopuolisia kosteusrasituksia kellarirakenteessa ovat maaperän kosteus sekä pohjavesi ja sisäpuolelta tulevia kosteusrasituksia ovat esimerkiksi vesihöyry, roiskevesi ja mahdolliset vesivahingot. /2/ Maaperän suhteellinen kosteus on 100 %, joka tarkoittaa vesihöyryn pitoisuuden saavuttaneen kyllästyspitoisuuden tason vallitsevassa lämpötilassa. Kosteustasapaino pyrkii aina tasoittumaan materiaalien ja maaperän välillä, kuten kaikki pitoisuus- ja paine-erot. /6/ Aineet, jotka läpäisevät hyvin kosteutta/vesihöyryä, saavuttavat ympäristön kanssa kosteustasapainon nopeammin kuin kosteutta huonosti läpäisevät. Myös rakennepakkaus vaikuttaa kosteustasapainon saavuttamisen nopeuteen. /4/

3.1 Diffuusio

Kosteus siirtyy diffuusiona, kun maan kosteuspitoisuuden 100 % seurauksena materiaali, tässä betoni, saavuttaa hygroskooppisen alueen eli sen pinnan huokosten suhteellinen kosteus RH on 100 %. Diffuusio on ilmiö, jossa epätasapainossa olevat kaasumolekyylit pyrkivät jakautumaan muodostaen tasaisen kaasuseoksen. Tämä tarkoittaa sitä, että kosteus pyrkii vesihöyrynä siirtymään korkeammasta kosteuspitoisuudesta matalampaan muodostaen tasapainotilan. Aineen saavuttaessa tasapainotilan ympäristönsä vesihöyryn kanssa, on sillä hygroskooppinen tasapainokosteus. Kellarirakenteessa maaperän kosteus pyrkii siis materiaalin läpäisemällä tasoittamaan maaperän ja kellaritilan välistä kosteuspitoisuutta. /4, 6/

Yleisesti kuvataan diffuusion tapahtuvan lämpimästä tilasta kylmempään päin, eli esimerkiksi sisätilasta ulkopuolelle sisätilan suuremman kosteuspitoisuuden vuoksi, mutta kuten kellarirakenteessa, diffuusio voi tapahtua myös kylmemmästä (maaperä) tilasta lämpimään (kellaritila) päin /6/.

3.2 Konvektio

Kosteus siirtyy konvektiona paine-eron vaikutuksesta, kun ilmaseoksessa oleva vesihöyry siirtyy kaasuseoksen mukana sen liikkua ja tasoittaessa paine-eroa. Konvektio on tässä tapauksessa ns. pakotettu konvektio, koska se tapahtuu ulkoisen voiman vaikutuksesta. Konvektion tapahtuminen edellyttää rakenteesta olevaa vähäisempää tiiveyttä, joka mahdollistaa virtauksien rakenteesta läpi. Konvektion ilmavirtoja syntyy tässä tapauksessa maaperän ja pohjaveden aiheuttamasta paineesta sekä kellaritilassa vallitsevan paineen paine-erosta. /4/

3.3 Kapillaarinen liike

Kapillaarinen liike on veden liikettä huokoisessa aineessa, jossa vesi liikkuu huokosverkostossa alipaineen synnyttämien voimien tuotoksena. Alipaine syntyy huokosten muodostamassa putkistoverkostossa huokosten ja veden välisistä vetovoimista. Tällöin huokoseen nousee vesipatsas, jonka yläpinta kaareutuu ja aiheuttaa alipaineen vesipatsaaseen. Alipaine on liikuttava voima, joka liikuttaa vettä huokosessa eteenpäin kohti lisää täytettävissä olevia huokosia. /6/

Kellarirakenteen ympärillä olevassa maaperässä kapillaarinen vedenliike pyrkii nostamaan vedenpinnan pohjavedenpinnan yläpuolelle /4/. Tämä johtuu siitä, että luonto pyrkii tasapainottamaan eri materiaalien, aineiden kosteuseroja. Kapillaarinen vedenliike voi tapahtua myös vaakasuunnassa. /6/

Kapillaarinen vedenliike on huomattavampaa huokoisemmassa aineessa, sillä kapillaariveden nousukorkeus, määrä ja nopeus ovat riippuvaisia yksittäisten huokosten koosta ja ominaisuudesta. Isoissa huokosissa kapillaarivedellä on isompi tilavuus sekä vesipatsaan ja huokosseinämien välinen kitka on pienempi, jolloin veden on vaivattomampaa nousta pitkin kapillaarihuokosia. Toisaalta pienempihuokosissa materiaalissa alipaine ja täten nousukorkeus on korkeampi, sillä huokosten ollessa pienempiä kosteus jakautuu suurempaan määrään huokosia, mikä vaikuttaa kosteuden nousukorkeuteen. /6/ Suurihuokoisten materiaalien kykyä kuljettaa vettä huokosissaan sanotaan kapillaari-imuksi. Kapillaari-imu saa aikaan huokoisten materiaalien imevän itseensä kosteutta muista materiaaleista ja sen liikkumista omista

huokosissaan syvemmälle rakenteeseen. /4/ Kun kapillaarisessa vedenliikkeessä nousukorkeus saavuttaa sen rajan, että enää vain pienimmät huokokset täyttyvät kapillaarivedestä, alkaa diffuusion merkitys kosteuden kuljettajana kasvamaan kapillaarista nousua korkeammaksi /6/.

4 KOSTEUS KELLARIRAKENTEESSA

Rakennukset ja rakenteet tulee suunnitella ja toteuttaa siten, että rakenteisiin ei rakennusaikana tai sen jälkeen pääse sinne kuulumatonta kosteutta sisä- eikä ulkopuolelta, joka vaikuttaisi negatiivisesti rakenteen toimivuuteen /2/. Kellarirakenteessa veden aiheuttamia rasituksia syntyy maaperän kosteudesta, paineettomasta vedestä, joka painovoiman johdosta laskeutuu maaperässä, sekä paineellisesta pohjavedestä /7/. On huomioitava näistä aiheutuvat vaikutukset, kuten konvektio, diffuusio ja kapillaarisuus sekä edellä mainittujen fysikaalisten tapahtumien jatkumot kosteuden tiivistymisessä ja hygroskooppisen sekä kapillaarisen tasapainokosteuden saavuttamisessa rakenteessa /8/.

Rakenteen kosteusteknisessä käyttäytymisessä on otettava huomioon myös veden käyttö ja vesihöyryn tuotto sisätiloissa sekä rakennuskosteuden poistuminen rakenteesta. Kellarirakenteelle tulee tehdä kosteustekninen riskiarvio, jonka perusteella voidaan määritellä rakenteen tarvitsemat käsittelytavat ja -laajuus kosteudenhallinnan näkökulmasta. /8/

4.1 Kosteuden vaikutukset rakenteessa

Betoni itsessään kestää kosteutta hyvin. Juuri siksi betoni onkin suosittu rakennusmateriaali kohteissa, joissa on tarvetta suurelle määrälle kosteutta kestävästä materiaalia. Betoni ei myöskään sisällä orgaanisia aineita, joten betonirakenteessa ei esiinny homeetta. Tätä ei kuitenkaan tule sekoittaa betonin pinnalla esiintyvän mahdollisen orgaanisen aineen homehtumiseen. Kosteuden niin sanotut lieveilmiöt ovat niitä, jotka aiheuttavat vaurioita betoniin. /9/

4.1.1 Raudoitteiden korroosio

Ilmassa sekä maaperässä oleva hiilidioksidi aiheuttaa betonissa olevien terästen mahdollisen korroosion eli ruostumisen. Korroosio tulee mahdolliseksi, kun betonin suojauskyky vähenee. Se, kuinka kauan tähän betonin suojausominaisuuden rapistumiseen kuluu, on riippuvainen ympäristöolosuhteista, käytetystä betonista

sekä suojabetonipeitteen paksuudesta. Mikäli betonin tiiviys on varmistettu niin vesisementtisuhteella kuin tiivistystyölläkin, on oletettavaa, että betoni suojaa teräksiä paremmin ja kauemmin. /9, 10/

Betonin emäksisyys suojaa hyvin teräksiä korroosiolta. Betoni alkaa menettää emäksisyyttään eli karbonatisoitumaan, kun hiilidioksidi vaikuttaa betonissa neutraloiden betonia reagoidessaan emäksisyyteen. Reaktio etenee hiljalleen betonin pinnasta syvemmälle betoniin. Kuitenkin, todella kosteassa betonissa, karbonatisoituminen on hitaampaa kuin kuivassa betonissa, huokosten ollessa täynnä vettä, jolloin hiilidioksidilla on vähemmän huokostilaa edetäkseen betonissa. /9, 10/

Raudoituksen korroosio aiheuttaa betoniin halkeamia korroosiosta syntyvien alkuaineyhdisteiden nelinkertaisen (verrattuna terästen alkuperäiseen tilavuuteen) tilantarpeen vuoksi, mikä puolestaan vaikuttaa betonin lujuuteen ja suunniteltuun toimivuuteen heikentävästi /10/.

Raudoituksen korroosio voi alkaa myös ilman betonin karbonatisoitumista. Tällöin rakenteeseen tunkeutuvat kloridit, esimerkiksi meriveden suoloista, jotka etenevät betonin vedentäyttämässä huokosissa, rajuimmin betonin pinnassa. Klorideista johdettu korroosio tapahtuu nopeammin kuin karbonatisoituneessa betonissa. Korroosio alkaa, kun kloridipitoisuus ylittää tietyn raja-arvon. Kloridit rikkovat teräksen pinnalla olevan oksidikalvon, jolloin kloridit pääsevät vaikuttamaan syövyttävästi pienentäen teräksen pinta-alaa, mikä puolestaan vaikuttaa terästen toimintaan betonissa. /10/

4.1.2 Pakkasrapautuminen

Veden jäätyminen betonin huokosissa voi rapauttaa betonirakennetta. Mikäli betoni jäätyy siten, että sen huokokset ovat täynnä vettä, betoni voi vaurioitua veden laajentuessa aiheuttaen painetta huokosiin. Jatkuvan sulamisen ja jäätyminen seurauksena betonin lukuisat säröt rapauttavat betonia. Betonin pakkasenkestävyyttä voidaan parantaa muokkaamalla vesisementtisuhdetta alhaisemmaksi. Betonista voidaan myös tehdä pakkasenkestävää lisäämällä lisähuokostusainetta valmistusvai-

heessa, joka vaikuttaa siten betoniin, että lisäaineen myötä betonissa on ns. ylimääräisiä huokosia, jotka pysyvät ilmatäyteisinä myös kosteusrasituksen alaisena. Tällöin, vesihuokosten jäätyessä, on betonirakenteessa varattu tila jäätyneelle vedelle, eikä betoniin synny säröjä. /9, 10/

4.2 Kellaritilan käyttötarkoituksen vaikutus kosteusrasitukseen

Rakennusten ja tilojen käyttöön liittyvät toiminnot lisäävät aina jonkin verran sisäilmaan ylimääräistä kosteutta. Myös ihmiset tuottavat kosteutta kehostaan sisäilmaan. Kellaritilan ollessa käyttötarkoitukseltaan esimerkiksi autohalli tai varasto-tila, voidaan olettaa käytön ja ihmisten tuottaman lisäkosteuden olevan suhteellisen pieni, enimmillään vain 3 g/m^3 . /4, 8/

Maaperän ja pohjaveden aiheuttaman suuren paine-eron ansiosta, vettä kulkeutuu konvektion avulla rakenteen ulkopuolelta sisäpuolelle. Mikäli maaperässä on suurempi määrä vesihöyryä, silloin se pyrkii diffuusiona kulkemaan rakenteen läpi sisätilaan. Tällöin kosteus saattaa kondensoitua eli tiivistyä rakenteen sisäpuolella rakenteessa tai sen pinnassa. Tämä on mahdollista kellaritilassa, kun sisäilman suhteellinen kosteus on noin 40 % ja lämpötila noin $+20^\circ\text{C}$ sekä maaperässä puolestaan RH 100 % ja yli $+5^\circ\text{C}$. Tällainen tilanne saattaa olla esimerkiksi lämmitetyssä varastotilassa. Tällöin on huomioitava mahdollinen kosteus rakenteen sisäpinnassa siten, että sisäpinnalle ei sijoiteta varastorakenteita tai muuta orgaanista materiaalia, vaan seinän ja materiaalin väliin jätetään tuuletusväli kosteuden haihtumisen mahdollistamiseksi. Mikäli rakenteen sisäpintaan asennetaan pinnoite, on sen läpäistävä vesihöyryä, jotta vettä ei tiivistyisi materiaalien rajapintaan. /4, 7, 8/

Useasti kellaritila voi olla lämmittämätön tai ajoittain lämmitetty, jolloin sisätilan olosuhteet seuraavat viiveellä ulkotilan olosuhteita. Tällöin suhteellinen kosteus nousee hyvinkin korkealle ja lämpötilasta riippuen sisätilassa saattaa kosteampina ajanjaksoina olla hyvinkin korkeat kosteuspitoisuudet. Suurimmalla todennäköisyydellä tämä tapahtuu syksyllä tai keväällä. Mikäli maaperässä on absoluuttinen kosteus suurempi kuin sisätilassa, tapahtuu diffuusio ulkoa sisätilaan, eikä toisin päin. /4, 8, 14/

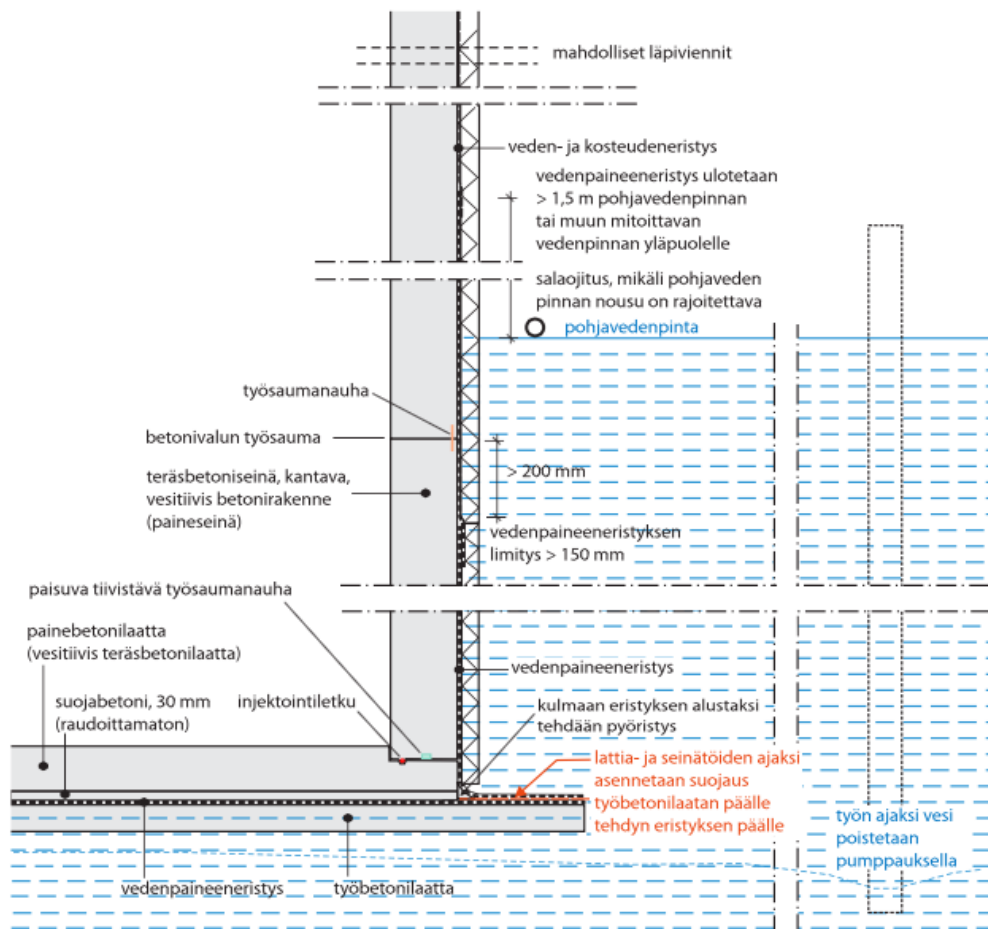
4.3 Rakennusympäristön vaikutus kosteusrasituksiin

Pohjaveden pinnan korkeuteen suhteessa maanpintaan vaikuttaa ympäristön korkomuutokset, sillä veden pinta myötäilee yleisesti maanpinnan korkeustasoa. Pinta kuitenkin pyrkii tasaantumaan gravitaation vaikutuksesta vaakasuoraan. Pohjaveden pinta on korkeimmillaan vesistöjen läheisyydessä, sillä vesistöjen sekä muun muassa soiden läheisyydessä pohjavesi on yhteydessä maanpinnalla esiintyvään veteen. /11/

Pohjaveden pinnan korkeuteen vaikuttavat Suomessa merkittävästi maanpinnan korkeuden ja vesistön välisen korkeussuhteen lisäksi myös sademäärä ja veden haihtuminen. Pohjaveden pintaan vaikuttavat jonkin verran muun muassa myös rakentaminen, vallitseva ilmanpaine ja maaperän ojitus. /11/

Rakennettaessa vesistön läheisyyteen, voidaan olettaa pohjaveden pinnan vaihteluiden olevan suurempia, kuin esimerkiksi rakennettaessa ns. kuivalle maalle, jolloin on huomioitava nämä vaihtelut rakenteiden kosteussuunnittelussa. Erityisesti merenranta-alueilla pohjaveden pinta on suoraan verrannollinen merenpinnan vaihteluihin. Pohjaveden pinnan nopeasta alenemisesta saattaa aiheutua pohjarakenteiden painumista, ja nousemisesta puolestaan aiheutuu rakenteisiin vaikuttavan vedenpaineen ja sen aiheuttamien kosteusrasituksien vaikutusalueen pinta-alan suurentuminen. /5, 7, 11/

5 KOSTEUDEN VÄLTÄMINEN RAKENTEESSA



Kuva 1. Tapoja kosteuden pääsyn estämiseen rakenteeseen.

Vedenpaineen alaiset kellarirakenteet tulee suunnitella siten, että rakenne kestää säilyttäen kaikki ominaisuutensa vedenpaineen vaikutuksessa, sekä estää veden liikkeen rakenteen läpi (Kuva 1.). Vedenpaineellisten kellarirakenteiden tapauksessa, kosteuden pääsyä rakenteisiin voidaan hallita vedenpoistosysteemillä, maa-lajien tarkoituksenmukaisella hyödyntämisellä, jatkuvilla kosteus- ja vedeneristyk-sillä sekä kellaritilan ilmanvaihdolla. Mahdolliset läpiviennit pystyrakenteissa tulisi asettaa vedenpaineeneristuksen yläreunan yläpuolelle. /7, 8/

Vedenpainetta puolestaan voidaan vähentää työn ajaksi laskemalla pohjavedenpintaa esimerkiksi siiviläputkilla tai pumpuilla, kunnes maanvastainen laatta on saavuttanut riittävän vastapainon veden nostetta vastaan, eristeet ovat paikallaan sekä betoni on tavoitelujuudessaan. Pohjaveden pinnan korkeuden nousua voidaan estää salaojittamalla täyttömaa pohjaveden pinnan korkeustason yläpuolelta, jolloin on huolehdittava täyttömaahan kohdistuvien routivuus-, rakeisuus- ja vedenläpäisevyysvaatimusten täyttymisestä. /7, 8/

5.1 Vedeneristys

Kellarirakenteet, joihin vedenpaine vaikuttaa, on vesieristettävä jatkuvalla vedenpaineeneristyksellä eli eristyksellä, joka jopa täydellisenä vesitiiviinä kerroksena alusrakenteineen, tiivistyskerroksineen ja saumoineen toteuttaa sille asetetut vaatimukset kosteuden läpäisyn estämisestä rakenteen koko suunnitellun käyttöajan ajan. Jatkuvat vedeneristykset (sekä rakenne itsessään) mitoitetaan pohjaveden pinnan korkeudesta riippuvan pohjavedenpaineen mukaisesti. Vedenpaineeneristys on pystypinnoilla nostettava vähintään 300 mm suunnittelussa määritellyn pohjavedenpinnan yläpuolelle. Rakenteiden vedenpaineeneristyksen jatkuvuuden vuoksi liikuntasauvoja pyritään välttämään vedenpaineellisissa kellarirakenteissa. Vedenpaineeneristyksen on säilytettävä ominaisuutensa vedenpaineen lisäksi muiden rasitusten, kuten maanpaineen, mahdollisten rakenteen muodonmuutoksien rakentamisen ja käytön aikana, lämpötilanmuutoksien sekä betonin luonnollisten muodonmuutoksien kuten kutistuman esiintyessä. /8/

Tarvittaessa vedenpaineeneristys suojataan, jotta maaperästä aiheutuvat rasitukset tai rakentamisaikaiset työt eivät vahingoita eristystä. Mikäli puolestaan rakenteen liikkeet aiheuttaisivat vahinkoa vedenpaineeneristykselle, voidaan eristys erottaa rakenteesta laakeroinnilla. /8/

Vaakapinnalla, eli kellarin lattiarakenteessa vedenpaineeneristys voidaan suojata työn ajaksi raudoittamattomalla rakennebetonilla, jonka paksuus on oltava vähintään 30 mm. Suojabetonin ja vedenpaineeneristyksen päälle valetaan vettä läpäisemätön teräsbetonipainelaatta. Pystysuorilla pinnoilla, mikäli vedenpaineeneristys

on kellarirakenteen sisäpuolella, voidaan vedeneristys suojata ruiskutettavalla betonilla tai suojaukseen suunnitellulla vedeneristyskermillä ja tämän kerroksen päälle valetaan kantava teräsbetoniseinä, joka on suunniteltu vastaanottamaan vedenpaine. Vedenpaineeneristyksen ollessa pystysuoran rakenteen ulkopuolella, eristyksen vahingoittuminen voidaan estää levyillä, jonka tarkoitus on työnaikainen suojaus. Tällaisia ovat esimerkiksi solupolystyreenilevyt. /7/

Mikäli vedenpaineeneristys pettäisi, on painerakenteen estettävä veden tunkeutuminen sisälle kellaritilaan. Tämän vuoksi vedenpaineeneristyksen kanssa on käytettävä tiiviitä raottomia rakenteita, joten esimerkiksi harkot eivät sovellu vedenpaineellisiin kellarirakenteisiin. Rakenne on myös mitoitettava siten, että eristystä vahingoittavia muodonmuutoksia, kuten painumia, ei kehity. /7/

Vedenpaineeneristykseksi soveltuvat erilaiset bitumikermit, massaeristeet sekä bentoniittieriste. Myös vesitiiviillä betonirakenteilla voidaan estää veden pääsy rakenteen läpi. /7/

5.1.1 Bitumikermi vedenpaineeneristeenä

Vedenpaineeneristykseksi soveltuu bitumikermi, joka on luokiteltu ja hitsattavissa, sekä toteuttaa tuoteluokaltaan vähintään luokan TL2. Tapauskohtaisesti, kermien määrä ja luokka valitaan oheisen taulukon mukaisesti (Taulukko 1.) Bitumikermieristystä voidaan kuitenkin tehdä jopa 30 metrin vedenpaineen ja +50°C lämpötilan vaikutuksen alaisuudessa modifioimalla kermiä erilaisilla kestävyillä ja elastisuutta parantavilla modifiointiaineilla. Bitumikermi soveltuu kohteisiin, joissa maantäyttö painaa kermiä kohti seinärakennetta. /7/

Taulukko 1. Bitumikermien valinta riippuen vedenpaineesta.

vedenpaine	tuoteluokkayhdistelmä TL 2 ja TL1 kermeillä
0...1 m	TL 2 + TL 2, esim. kylmäbitumisively KBL 20/100 + (kuumabitumisively tarvittaessa) + 2 x bitumikermi
1...5 m	TL 2 + TL 2 + TL 2 (tai TL1), esim. kylmäbitumisively KBL 20/100 + (kuumabitumisively tarvittaessa) + 3 x bitumikermi
5...10 m	TL 2 + TL 2 + TL 2 + TL 2 (tai TL1), esim. kylmäbitumisively KBL 20/100 + (kuumabitumisively tarvittaessa) + 4 x bitumikermi

5.1.2 Bentoniittieriste vedenpaineeneristeenä

Bentoniitti on helposti muovattavaa erikoissavea, jota käytetään sekä seinien että lattioiden vedenpaineeneristyksessä. Bentoniitti pystyy inemään itseensä suuren määrän vettä ja tällöin se laajenee jopa kymmenkertaiseksi alkuperäiseen tilavuuteensa verrattuna, jolloin se pääsee tunkeutumaan pienimpiinkin koloihin, mikä tiivistää rakennetta. Yhdessä alapuolisensa rakenteen kanssa bentoniitti muodostaa vedenpainetta kestävänsä rakenteen. Mikäli rakenne on vaativa, voidaan lisäeristeenä käyttää bitumikermiä. /7, 8/

Kellarien seinä ja lattia voidaan vedenpaine-eristää bentoniittimatoilla, jotka koostuvat kahdesta polypropeenikuitukankaasta sekä niiden välissä olevasta bentoniittimassasta. Kastuttuaan bentoniitti laajenee tiivistäen myös erillisten mattojen saumat. Bentoniittia käytettäessä vedenpaineeneristykseenä, on alustan tasaisuus erityisen tärkeää. Yksityiskohtiin ja tarkkuutta vaativiin töihin voidaan käyttää erillistä bentoniittisavea. /7, 8/

5.1.3 Massaeriste vedenpaineeneristeenä

Massaeristeitä on eri materiaaleja, jotka yleisesti ovat kaikki levitettäviä. Koska eristemateriaalit poikkeavat toisistaan, on noudatettava valmistajan antamia ohjeita levitystavasta, kuten lämpötilan huomioiminen, käytettävä työkalu, mahdolliset alustan pohjustukset, eristyksen paksuus sekä levityksien lukumäärä. Massaeriste muuttuu kiinteäksi tiiviiksi vesieristekerrokseksi muutamien päivien kuluessa. /7, 8/

Massaeristeenä voidaan käyttää esimerkiksi 2-komponenttisia epoksi-, polyuretaani- tai sementtipohjaisia eristeitä. Sementtipohjaiset massaeristeet soveltuvat vain jännitetyille rakenteille. /7/

5.1.4 Vesitiivis betoni

Vesitiivis betoni on betonia, joka estää veden läpäisyn betonissa (Kuva 2.). Betonissa tämä tarkoittaa sitä, että huokosrakenne ei ole yhtenäinen, jolloin vesi ei pääse kulkeutumaan huokosverkostossa. Jotta vesitiivis betoni voi muodostaa vesitiiviin

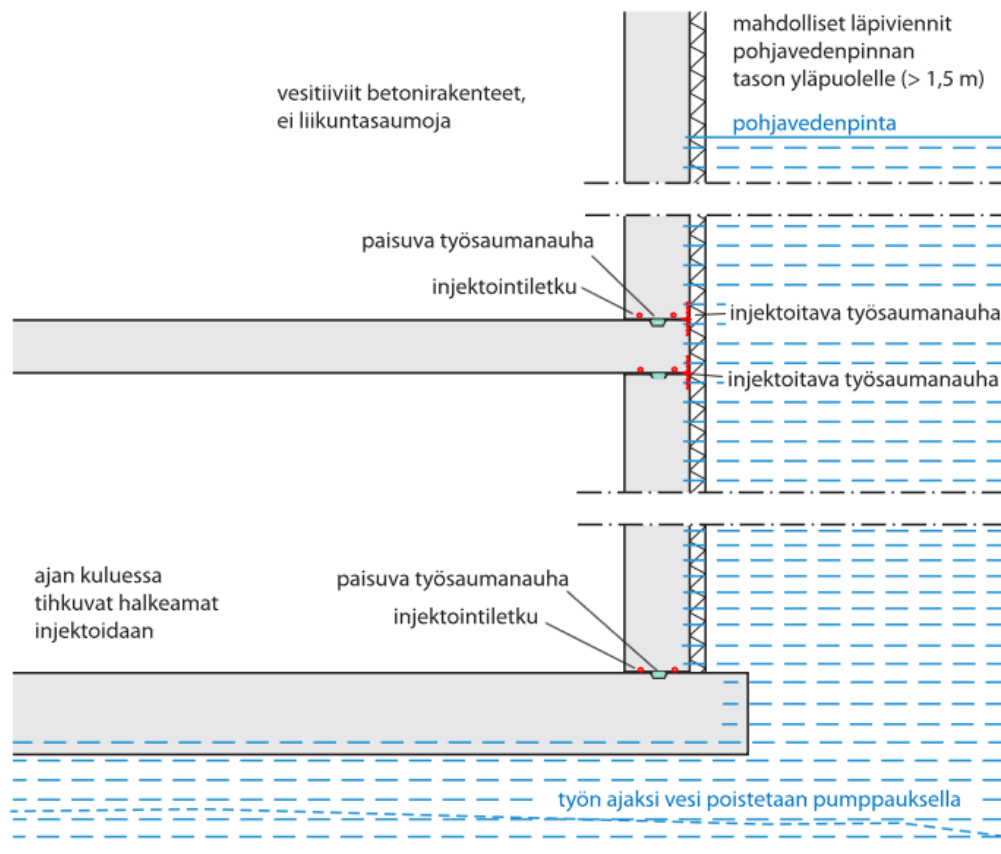
betonirakenteen, on betonin oltava myös halkeilematon eli sen on kestävä siihen kohdistuvat rasitukset, kuten kuormitukset, lämpötilamuutokset, estetty kuivumiskutistuma sekä veden- ja maanpaine. Vesitiivistä betonirakennetta yleensä hyödynnetään yhdessä muiden edellä mainittujen vedenpaineeneristeiden kanssa riittävän vedeneristyksen saavuttamiseksi. /7/

Betonin vesitiiviys vahvistetaan vesitiiviyskokeilla. Vesitiiviyskokeen toteutus ja tulosten tarkastelu on osoitettu eurooppalaisissa standardeissa. Betoni saavuttaa vesitiiviytensä yleisesti valmistusseoksen sisältäessä tarpeeksi hienoainesta ja maltillisesti vettä. Hienoaineisiin luetaan yleisesti sementit, seosaineet ja kiviaineen hienoainemäärä. Vesitiiviin betonin vesisementtisuhte on tarkasteltava huomioden käytetty sementti, sillä sementeillä on erilaisia ominaisuuksia. Lisäksi lisäaineiden käytöllä voidaan vaikuttaa betonin laatuun positiivisesti. /7/

Vesitiivis betoni voi yleisesti olla ns. itsestivistyvää betonia tai normaalilujuusluokasta betonia (K30 eli C25/30). Itsetiivistyvässä betonissa on paljon hienoainetta. Itsetiivistyvä betoni saavuttaa vesitiiviytensä jopa muutamassa päivässä, kun taas normaalilujuusluokkainen betoni neljässä viikossa. Betonin lujuutta ei voida pitää suorana tekijänä vesitiiviyteen, mutta on huomattu, että se pääsääntöisesti on suoraan suhteessa lujuuteen. /7/

Vesitiiviin betonin saumat voidaan tiivistää esimerkiksi injektointiletkuilla, jotka injektoidaan tiivistämiseen sopivalla aineella. Tällaisia aineita ovat esimerkiksi polyuretaani- tai akryylihartsi. Myös edellä mainittu bentoniittimassa on soveltuva saumaukseen. /7/

Vesitiiviin betonin läpi vedenpaineen vaikutuksesta kuitenkin kulkee vesihöyryä jonkin verran diffuusion muodossa, joten tämän vesihöyryyn pääsy rakenteen toiselle puolelle on varmistettava, jotta se pääsee haihtumaan sisäilmaan, eikä aiheuta rakenteelle kosteusteknisiä rasituksia. Tällöin rakenteen sisäpuolella ei saa olla materiaalia tai pinnoitetta, joka voi kerätä kosteutta itseensä ja vahingoittua. /7/



Kuva 2. Vesitiivis betonirakenne ilman erillistä vedenpaineeneristystä.

5.1.5 Vesitiiviyys halkeamamitoituksen näkökulmasta

Halkeamat voivat syntyä betoniin heti valun jälkeen tai rakenteen käytön aikana. Halkeamia aiheuttavat muun muassa maan- ja vedenpaine sekä muodonmuutoksista aiheutuvat pakkovoimat. Halkeamat huonontavat betonin vesitiiviyttä, sillä tässä tapauksessa vettä kulkeutuu betoniin tai sen läpi. Halkeamista kulkeutuva vesi myös estää betonia suojaamasta raudoitusta. Rakenteiden huolellisella suunnittelulla ja toteutuksella voidaan rajoittaa halkeilua sekä halkeamaleveyksiä. /10, 16/

Raudoitusjärjestelyillä voidaan vaikuttaa kuormituksesta aiheutuvan halkeilun määrään, sillä halkeamaleveyden ajatellaan muodostuvan raudoituksen ja betonin eroista venymän suhteen halkeamavälillä /16/. Raudoitusjärjestelyillä tarkoitetaan raudoituksen määrän, sijainnin sekä tartunnan mitoittamista, mitkä käytännössä tarkoittavat suojabetonipeitteen määrää, tankojakoa ja terästen halkaisijaa /10/. Pak-

komuodonmuutoksista johtuvaa halkeilua voidaan minimoida rakenteeseen vaikuttavien normaalivoimien tarkastelulla sekä niihin yhteydessä olevien betoniominaisuuksien ja työnaikaisten olosuhteiden muokkaamisella. /16/

Vesitiiviille betonille asetettuja vaatimuksia koskien betonin lujuutta, vesi-sementtisuhdetta ja betonin suojapeitteen paksuutta määrittävät rasitusluokat (Taulukko 2.). Rakenne voi kuulua samanaikaisesti useampaan luokkaan. /13/

Taulukko 2. Rasitusluokat.

Rasitustekijä	Luokka	Olosuhdekuvaus
Ei korroosioriskiä betonille tai raudoiteille	X0	Betoni sisätiloissa, jossa ilman kosteus on hyvin alhainen
Karbonatisoituminen	XC1	Kuiva, tai pysyvästi märkä
	XC2	Märkä, harvoin kuiva
	XC3	Kohtalaisen kostea
	XC4	Jaksollinen kastuminen ja kuivuminen
Kloridien aiheuttama korroosio	XD1	Kohtalaisen kostea
	XD2	Märkä, harvoin kuiva
	XD3	Märkä ja kuiva vaihtelevat
Merivedessä olevien kloridien aiheuttama korroosio	XS1	Betonia rasittavat tuulen mukava tulevat kloridit, ei suoraa kosketusta veteen
	XS2	Veden alla
	XS3	Vesirajassa ja roiskevyöhykkeellä
Jäätymis-/sulamisrasitus	XF1	Kohtalainen vedellä kyllästymisen ilman jäänsulatusaineita
	XF3	Suuri vedellä kyllästymisen ilman jäänsulatusaineita
Jäätymis-/sulamisrasitus ja suolarasitus	XF2	Kohtalainen vedellä kyllästymisen ja jäänsulatusaineet
	XF4	Suuri vedellä kyllästymisen ja jäänsulatusaineet
Kemiallinen rasitus	XA1	Kemiallisesti heikosti aggressiivinen ympäristö

	XA2	Kemiallisesti kohtalaisesti aggressiivinen ympäristö
	XA3	Kemiallisesti voimakkaasti aggressiivinen ympäristö

Voidaan tässä olettaa, että kellarirakenne on rasitusluokassa XC2. Tällöin suojabetonipeite on vähimmäisarvoltaan (nimellisarvo – sallittu mittapoikkeama) 20 mm, kun suunniteltu käyttöikä on 50 vuotta ja 25 mm silloin, kun suunniteltu käyttöikä on 100 vuotta. Nämä ohjeet on kuitenkin syytä tarkistaa käytettävän betonilujuuden mukaisesti standardeista. Kun betoni valetaan maata vasten, suojabetonipeitteen vaatimukset muuttuvat. /13/

Rakenteet, joilta odotetaan vesitiiviyyttä, voidaan luokitella sen mukaan, mikä on niille asetettu vaatimus rakenteen läpi tapahtuvan vuodon suhteen (Taulukko 3.). Tiiviysluokan määrittelyllä voidaan valita tarkasteltavan rakenneosan halkeilurajat. Tiiviysluokan valinnassa on otettava huomioon tilaajalta tulevat vaatimukset tilojen ulkonäön ja käyttötarkoituksen suhteen. Voidaan olettaa tässä, että kellarirakenne on tiiviysluokassa 1. /16/

Taulukko 3. Tiiviysluokat.

Tiiviysluokka	Vuotoa koskevat vaatimukset
0	Tietty vuodon määrä hyväksyttävä tai nesteiden vuodolla ei ole merkitystä.
1	Vuoto rajoitettava pieneen määrään. Tietty pinnan tahriutuminen tai kosteat laikut hyväksyttäviä.
2	Vuoto minimaalista. Tahriutuminen ei saa heikentää ulkonäköä.
3	Vuotoa ei sallita ollenkaan.

Halkeama tiiviysluokan 1 rakenteessa, jonka oletetaan kulkevan koko poikkileikkauksen läpi, on rajoitettava arvoon w_{k1} . Kun halkeamaleveys w_{k1} rajoitetaan 0,05–0,2 millimetrin välille, voidaan olettaa poikkileikkauksen läpäisevien halkeamien tiivistyvän itsestään melko lyhyen ajan kuluessa. /16/

Mikäli poikkileikkaus ei ole halkeillut koko korkeudeltaan, puristusvyöhykkeen korkeuden mitoitusarvo ylittää minimiarvon sekä halkeamien oletetaan itsetiivisty-

vän, voidaan käyttää taulukoituja maksimiarvoja halkeamaleveyksille. /16/ Halkeamaleveyden maksimin suositusarvo rasisluokan XC2 rakenteelle, johon vaikuttavat pitkäaikaiskuormat, suunniteltu käyttöikä on 50 vuotta eikä raudoitus ole korrosioherkkää, on 0,3 mm. Mikäli suunniteltu käyttöikä on 100 vuotta, on halkeamaleveys rajoitettava 0,15–0,17 millimetriin (kun suojabetonipeite on 20–25 mm). /13/

Tiivisyysluokassa 2 on syytä välttää läpi rakenteen kulkevia halkeamia. Mikäli niitä kuitenkin on, on syytä tehdä esimerkiksi tarpeenmukainen vuoraus tai käyttää vesitiiviitä työsaumanauhoja. Mikäli rakenne määritellään tiivisyysluokkaan 3, vesitiiviyden varmistamiseen tarvitaan yleensä erityistoimenpiteitä, kuten vuoraus tai esijännitys. /16/

Halkeamaleveyksien mitoitus voidaan toteuttaa myös puhtaasti laskennallisesti (ei tarkastella tässä työssä). Halkeamaleveyksien mitoituksen jälkeen, on syytä tarkastella raudoitusjärjestelyt, jotta raudoituksella saataisiin rajoitettua halkeamien syntymistä ja leveyksiä. Yleisesti vesitiiviissä rakenteissa mitoittava raudoitus määräytyy halkeamien käyttörajatilamitoituksen mukaan. /10, 16/

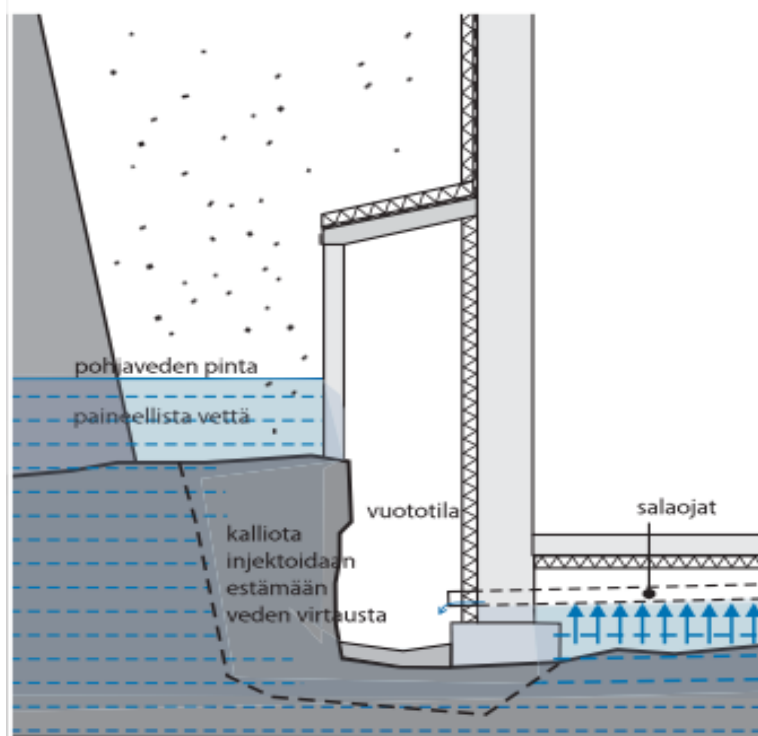
Yksityiskohtaisemmin betonirakenteiden halkeamiin ja sen kaikkiin osa-alueisiin perehtyvät muun muassa betonirakenteiden suunnittelun Eurokoodit ja Suomen betoniyhdistyksen kirjallisuus. /10, 13, 16/

5.2 Vedenpoisto

Vedenpaineelliset pystysuorat rakenteet voidaan suunnitella siten, että sallitaan jonkin verran veden vuotoa esimerkiksi rakenteen saumojen läpi. Läpivuotanut vesi otetaan talteen rakennetussa vuotoveden poistojärjestelmässä. Järjestelmä voidaan toteuttaa esimerkiksi rakentamalla erillinen tila kaksoisseinällä, joka muodostaa vuototilan kellaritilan ulkoreunoille. Vuototilasta vesi kerätään säiliöön ja pumpataan pois tilasta. Tilan suunnittelussa on huomioitava mahdollisuus vuototilan huoltoon, mikä tarkoittaa riittävää väljyyttä (leveys vähintään 1 metri). Tilassa tulee olla vuototilan veden korkeuden sekä pumppujen häiriötilan ilmoittava järjestelmä.

Myös valmiudessa oleva toinen pumppu sekä pumpuille kahta kautta saatava virransyöttö on tarkoituksenmukainen. /7/

Vedenpoistojärjestelmä voidaan toteuttaa joko täyttömaan viereen tai kalliota hyödyntämällä. Mikäli vuototila rakennetaan kalliota hyödyntämällä, on kallio syytä injektoida estämään veden virtausta (Kuva 3.). /7/



Kuva 3. Vuototila hyödyntäen kalliota.

5.3 Maalajien ominaisuuksien hyödyntäminen

Rakenteen ollessa vedenpaine-eristetty, ei kapillaarikatkokerrosta määräysten perusteella ole välttämätöntä tehdä. Kapillaarikatkokerroksesta on kuitenkin hyötyä veden liikkeen rajoittamisessa. /5, 6/

Täyttö- ja pohjamaaksi voidaan asentaa kapillaarisen vedennousun estävä maakerros, joka estää veden kapillaarisen liikkeen pysty- sekä vaakarakenteisiin. Mitä hienompaa maa-aines on, sitä enemmän ja korkeammalle se pystyy kosteutta huoko-

sissaan kuljettamaan. Aineksen kapillaarisuus on riippuvainen eri raekokojen suhteesta, rakeiden muodosta ja maakerroksen tiiveydestä. Kapillaarikatkomateriaalina on syytä käyttää seosta, jossa on alle 5 % alle 1 millimetrin rakeita, jotka tutkitusti ovat merkittävässä osassa materiaalin kapillaarisen nousukorkeuden suuruudessa. /6/

Suurirakeinenkin materiaali sallii jonkin verran veden kapillaarista liikettä. Onkin tärkeää tehdä kapillaarikatkerroksesta tarpeeksi paksu, jotta vaikka kapillaarista nousua esiintyykin, on veden liikkumista kuitenkin rajoitettu suuremmalla kapillaarikatkerroksella kuin mitä aineksen kapillaarinen kulkumatka on. /6/

5.4 Kellaritilan ilmanvaihto

Ilman ja rakenteiden pitkään jatkuva korkea suhteellinen kosteus aiheuttaa rakennusvaurioita. On tärkeää varmistaa kellaritilan riittävä ilman liikkuvuus tilassa jo rakennusaikana, jotta betonista haihtuva kuivumiskosteus pääsee pois tilasta, eikä aiheuta enempää kosteusriskejä rakenteen toimivuudelle. /4, 12/

Myös tilassa tapahtuvalla käytönaikaisella ilmanvaihdolla on suuri merkitys mahdollisen ulkopuolelta rakenteen läpi päässeeseen kosteuden haihtumiselle ilmaan rakenteen sisäpintaan tiivistymisen sijaan /4, 12/. Tilan suhteellista kosteutta voidaan säädellä ilmanvaihdon tehokkuudella sekä lämmityksellä /6/. On kuitenkin huomioitava tilan käyttötarkoituksen vaikutus sisätilan kosteus- ja epäpuhtauslähteisiin optimaalisen suhteellisen kosteuden tason määrittelyssä /12/.

6 ELINKAAREN HUOMIOIMINEN HOIDON JA HUOLLON NÄKÖKULMASTA

Rakennuksen suunniteltu käyttöikä perustuu rakennuksen käyttötarkoitukseen. Koko rakennuksen käyttöiän perusteella suunnitellaan oleellisimpien rakennusosien suunnittelukäyttöiät. Voidaan ajatella, että mitä kalliimpaa ja vaikeampaa rakennusosan korjaaminen on, sitä pidempi on oltava myös käyttöikävaatimus. Esimerkiksi kellarirakenteet ovat juuri tällaisia rakenteita, jotka ovat vaikea korjata. Käyttöiän ajatellaankin olevan aika, jonka rakenne kestää ilman korjauksia entisessä kunnossaan, huomioiden kuitenkin rakenteen huoltotarpeen. Tavanomaisesti esimerkiksi asuintarkoitukseen rakennetut kerrostalot ja toimistorakennukset suunnitellaan käyttöiältään 50 vuotiaiksi, mutta suuremmissa kaupunkikeskittymissä nämä rakennukset voidaan suunnitella myös 100 vuotiaiksi. Yleisesti kulttuurillisesti merkittävemmän rakennuksen suunniteltu käyttöikä on 100 vuotta. /13/

Betonin käyttöikää määritettäessä on huomioitava myös betoniin kohdistuvat rasitukset. Betonirakenteen on kestävä suunniteltu käyttöikä sille vallitsevissa olosuhteissa. Vallitsevat olosuhteet määrittävät betonin rasitusluokan. Rasitusluokkia määriteltäessä huomioidaan betoniin kohdistuvat karbonatisoitumisen ja kloridien aiheuttama korroosio, jäätymis- ja sulamisrasitus sekä mahdollinen kemiallinen rasitus ja niiden aiheuttamat rasitukset. /13/ Vedenpaineen alaiseen kellarirakenteen betoniin kohdistuu merkittävä yhtäjaksoinen kosteusrasitus sekä märkänä jäätyminen kuin myös meriveden kloridien rasituksien mahdollisuus /7/. Myös yhdessä betonin kanssa käytettävien rakenneosien, kuten vedeneristeen, käyttöikä on huomioitava. Rakenteen sisälle jäävän rakenneosan on täytettävä käyttöiältään vähintään pinnassa olevan materiaalin käyttöikä. /8/

Vedenpaineeneristyksen omaavat rakenteet tulee suunnitella siten, että ne voitaisiin korjata tarvittaessa. Myös mahdollisen vedenpoistojärjestelmän huoltotoimenpiteet on huomioitava suunnittelussa. Vaurioita voidaan etsiä aistinvaraisesti tai huoltotarve voidaan ilmoittaa esimerkiksi käyttämällä hälytysjärjestelmää pumppujen viikatilanteessa. Vedenpaineeneristykseen vaurioita saattavat aiheuttaa muun muassa

vedenpaine ja sen vaihtelut ja liikkeet, routa, rakennustyön toteutuksen epäonnistuminen, alustaan syntyneet halkeamat sekä rakenteen käyttöön saavuttaminen. /7/

7 TYYPPIRAKENTEIDEN KOSTEUSKÄYTTÄYTYMISEN LASKENTATARKASTELU

Rakennusosat, joihin vaaditaan vedenpaineeneristys vedenpaineen vaikutuksen vuoksi, tehdään yleensä käyttäen vesitiivistä betonia sekä toteuttaen vedenpaineeneristys bitumikermeillä, massaeristeillä tai bentoniittia hyväksikäyttäen. Kantavan rakenteen itsessään ollessa vedenpitävä, esimerkiksi vesitiivistä betonia, ei erillistä vedenpaineeneristystä vaadita, mutta yhdistettäessä rakenteessa sekä vedenpaineeneristys että vesitiivis betoni, saadaan lopputuloksesta varmempi veden tunkeutumisen estämisen suhteen. /8/

Rakenteen kosteuskäyttäytymistä sekä sen kosteusolosuhteita on syytä tarkastella vedenpaineellisissa kellarirakenteissa, koska rakenteeseen vaikuttaa epätavallisen vaativat kosteusrasitukset. Käytettäessä erilaisia rakennekerroksia vedenpaineen alaisessa rakenteessa, voidaan niiden vaikutuksia rakenteen kosteuskäyttäytymiseen tarkastella laskennallisesti. /8/ Laskentatarkastelussa on oltava selvillä lähtötietona materiaalikerroksen erilaisia lämpö- ja kosteusteknisii ominaisuuksia, kuten lämmön- ja vesihöyrynvastus, sekä ympäristöolosuhteita, kuten sisä- ja ulkolämpötilat, suhteelliset kosteudet sekä rakenteen pintavastukset /6/. Ulko- ja sisäpuoliset pinnanvastukset ovat taulukoituna (Taulukko 4.) lämpövirran suunnan mukaisesti /4/.

Lämmönjohtavuuden/-vastuksen avulla voidaan selvittää rakenteen sisällä lämpötilan muuttuminen eli lämpötilakäyrä, jolla puolestaan voidaan olettaa olevan lineaarinen yhteys kyllästyspitoisuuskäyrään. Vesihöyrynvastusta puolestaan tarvitaan rakenneleikkauksen vesihöyrypitoisuuden muuttumisen määrittelemisessä. Mikäli kyllästymispitoisuus- sekä vesihöyrypitoisuuskäyrät leikkaavat toisensa rakenneleikkauksessa, rakenteeseen muodostuu tiivistymisvyöhyke, jossa vesihöyryä kondensoituu rakenteen sisään. /6/

Taulukko 4. Sisä- ja ulkopuolinen pintavastus R_{si} ja R_{se} . /4/

Pintavastus [m ² K/W]	Lämpövirran suunta		
	Ylöspäin	Vaakasuoraan	Alaspäin
Sisäpuolinen pintavastus, R_{si}	0,1	0,13	0,17
Ulkopuolinen pintavastus, R_{se}	0,04	0,04	0,04

Maanvastaisten rakenteiden kosteusteknisissä tarkasteluissa oletetaan, että suhteellinen kosteus maan huokosilmassa on 100%. Pintamaan lämpötila on voimakkaasti yhteydessä ulkolämpötilan vaihteluihin, mutta syvemmällä maaperässä ulkolämpötilan vaikutus pienenee huomattavasti. 3...6 metrin syvyydessä pohjamaan ja pohjavesikerrosten lämpötila noudattaa ulkolämpötilan vuotuista lokaalia keskiarvoa. /6/ Kellarirakenteiden mitoittavien olosuhteiden voidaan olettaa olevan edellä mainitulla syvyydellä. DOFtechin DOF-Lämpö-ohjelman vuotuinen ulkolämpötilan keskiarvo Suomessa on noin +4,8°C ja tällöin kosteutta maaperässä on 6,75 g/m³. Rakenteen ulkopinnassa on myös kosteuspitoisuus, 6,75 g/m³. Sisätilan lämpötila on käyttötarkoituksesta riippuen noin +15...+22°C ja suhteellinen kosteus 15...80 %, riippuen tilan käyttötarkoituksesta, tilan kosteustuotosta ja ilmanvaihdon tehokkuudesta /6, 8/

7.1 Vesitiivis betoni

Vesitiiviin betonin ja ns. normaalin betonin eroavaisuus vedenläpäisevyyden suhteen on se, että vesitiiviin betonin lävitse ei tunkeudu vettä. Vesitiivis betoni päästää kuitenkin vedenpaineen alaisuudessa vesihöyryä diffuusion kautta läpi, noin 5 g/m²vrk. Vedenpaineen alaisen vesitiiviin betonin vesihöyrynvastus on määritettävä laskennallisesti (kaava 1) sen erotessa ns. normaalin betonin taulukkoarvoista. /7, 14/

Voidaan olettaa, että rakenteen ulkopuolella oleva vesihöyrinpaine syntyy pohjaveden aiheuttamasta hydrostaattisesta paineesta (kaava 2) /14/. Hydrostaattisen paineen vaikutuksen voidaan olettaa tässä olevan 3 metrin syvyydellä, mutta pohjavedenpaineen vaikutussyvyys on kuitenkin aina selvitettävä tapauskohtaisesti. Sisätilassa voidaan olettaa olevan +20°C ja RH 40 %.

$$Z_p = \Delta p / g_{\text{dif}} , \text{ jossa} \quad Z_p = \text{vesihöyrinvastus [m}^2\text{sPa/kg]} \quad (1)$$

$$\Delta p = \text{vesihöyrinpaineen muutos kerroksen yli [Pa]} = 29\,065 \text{ Pa}$$

$$g_{\text{dif}} = \text{kosteusvirta diffuusiolla [kg/m}^2\text{s]} \\ = 5,79 \cdot 10^{-8} \text{ kg/m}^2\text{s}$$

$$p = \rho g h , \text{ jossa} \quad p = \text{hydrostaattinen paine [Pa]} \quad (2)$$

$$\rho = \text{veden tiheys [kg/m}^3] = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g = \text{putoamiskiikkyvyys [m/s}^2] \approx 10 \text{ m/s}^2$$

$$h = \text{nesteen korkeus eli pohjavedenpinnan etäisyys vaikutuspisteestä [m]} = 3 \text{ m}$$

Tässä 300 mm paksuisen vesitiiviin betonin vesihöyrinvastus on $5,02 \cdot 10^{11}$ m²sPa/kg. Vesihöyrinvastus on riippuvainen materiaalikerroksen paksuudesta. Mitä suurempi vesihöyrinvastus on, sitä vähemmän betonin lävitse kulkee diffuusiona vesihöyryä. /3, 6, 15/

Teräsbetonin, jossa terästä on 2 %, lämmönjohtavuus on 2,5 W/mK /4/. Lämmönjohtavuus kasvaa betonin tiheyden ja teräsmäärän kasvaessa /14/. Betonissa oleva teräs vaikuttaa huonontavasti rakennekerroksen lämmöneristyskykyyn. Lämmönjohtavuus on materiaaliominaisuus, eli se ei ole riippuvainen rakenteen paksuudesta. Mitä pienempi lämmönjohtavuus on, sitä parempi eristävyyskyky materiaalilla on. /4/

Näissä tarkasteluissa on kyseessä kellariseinän rakenne. Vesitiiviin betonin, jonka paksuus on 300 millimetriä, ja sisäpuolella vallitsee RH 40 % sekä +20°C (Liite 1), kosteustarkasteluissa betonirakenteen sisäpinnassa vesihöyrinmäärä on 6,91 g/m³ (RH 60 %). Absoluuttinen kosteusmäärä on muuttunut pintojen välillä 0,16 g/m³,

ollen suurempi sisäpuolella. Kyllästymiskosteus- sekä vesihöyrypitoisuuskäyrä eivät leikkaa toisiaan kosteustarkastelussa.

Alennettaessa sisätilan suhteellista kosteutta 35 %:iin, rakenteen ollessa 300 millimetriä paksu (Liite 2), sisätilan ja -pinnan kosteus määrä on $6,05 \text{ g/m}^3$. Suhteellinen kosteus sisäpinnassa on noin 53 %.

Kun rakenne on 300 mm paksu vesitiivis betoni ja sisätilassa RH 70 % ja $+20^\circ\text{C}$ (Liite 3), rakenteessa olevaa vesihöyryä tiivistyy. Kyllästymiskosteus- ja vesihöyrypitoisuuskäyrät leikkaavat toisiaan suurin piirtein rakenteen poikkileikkauksen puolella välissä. Sisälämpötilan ollessa $+15^\circ\text{C}$ (Liite 4), rakenteen sisäpinnassa on kosteutta $9,0 \text{ g/m}^3$ (RH 93 %) eli kosteutta ei tiivisty rakenteessa.

Kun rakenteen paksuutta nostetaan 400 millimetriin, olosuhteiden sisätiloissa ollessa RH 70 % ja sisälämpötila $+15^\circ\text{C}$ (Liite 5), suhteellinen kosteus sisäpinnassa on noin 90 %. Rakenteessa oleva vesihöyry ei tiivisty.

250 millimetriä paksun vesitiiviin betonin sisäpinnalla on $9,00 \text{ g/m}^3$ vesihöyryä (RH 95 %), kun sisätilassa on suhteellinen kosteus 70 % ja $+15^\circ\text{C}$ (Liite 6). Kosteuspitoisuus on siis sama kuin 300 mm:n paksuisessa rakenteessa, mutta suhteellinen kosteus on tässä suurempi.

7.2 Vesitiivis betoni ja bitumi

Vedenpitävyyttä rakenteessa voidaan lisätä asentamalla vesitiiviin betonin (300 mm) ulkopuoleiselle pinnalle jatkuva bitumikermi (Liite 7) /8/. Tässä bitumikerminä on vedenpaine-eristämiseen sopiva kermi, jonka paksuus on 3,3 millimetriä ja vesihöyrynvastus $2,3 \cdot 10^{12} \text{ m}^2\text{sPa/kg}$ (Kerabit 4100 UT). Tässä vesitiiviin betonin ja bitumin tarkasteluissa oletetaan kyseessä olevan kellariseinärakenne. Sisätilassa on RH 40 % ja lämpötila $+20^\circ\text{C}$. Vesihöyrymäärä bitumin ja betonin rajapinnassa tällöin on $6,89 \text{ g/m}^3$ (RH 84 %) ja sisäpinnassa puolestaan $6,91 \text{ g/m}^3$ (RH 59 %).

Kun rakenteena on edelleen vesitiivis betoni ja bitumikermi, mutta sisätilassa RH 35 % ja +15°C (Liite 8), bitumin ja betonin rajapinnassa kosteutta on 6,18 g/m³ (RH 76 %) ja sisäpinnassa 6,05 g/m³ (RH 51 %).

Kun sisätilan suhteellinen kosteus on 50 %, ja lämpötila +20°C (Liite 9), kosteus-käyrä leikkaa kyllästymiskosteuskäyrän kermin ja betonin rajapinnassa. Tällöin rajapintaan tiivistyy vettä (RH 100 %). Vesihöyrymäärä rajapinnassa on 8,30 g/m³ ja sisäpinnassa puolestaan 8,64 g/m³ (RH 73 %).

Sisätilan suhteellisen kosteuden ollessa 70 % ja lämpötilan +20°C (Liite 10), kyllästymiskosteus- ja vesihöyrypitoisuuskäyrät leikkaavat sekä kermin ja betonin rajapinnassa, että betonin sisäpinnalla. Rajapinnan vesihöyrypitoisuus on 11,14 g/m³ ja sisäpinnan vesihöyrypitoisuus puolestaan 12,10 g/m³. Lämpötilan muuttuessa +15°C:een (Liite 11), rakenteessa yhä tiivistyy kosteutta. Kermin ja betonin rajapinnassa suhteellinen kosteus on 100 %. Rajapinnassa vesihöyrypitoisuus on 8,60 g/m³ ja betonirakenteen sisäpinnassa 9,00 g/m³ (RH 91 %).

Nostettaessa sisätilan suhteellinen kosteus 80 %:iin ja lämpötilan ollessa +15°C (Liite 12), kyllästymiskosteus- ja vesihöyrypitoisuuskäyrä leikkaavat sekä kermin ja betonin rajapinnassa, että betonirakenteen sisäpuoleisessa pinnassa eli rakenteeseen tiivistyy kosteutta. Vesihöyryn määrä rajapinnassa on 9,65 g/m³ ja sisäpinnalla 10,29 g/m³.

Mikäli maaperän lämpötila on +15°C (mahdollista, kun rakenne on alle 3 metriä maanpinnasta, jolloin maaperän lämpötila noudattelee ulkolämpötilan vaihteluita) sekä sisätilassa RH 70 % ja lämpötila +15°C (Liite 13), ulkopuolella on kosteutta 12,86 g/m³, kermin ja betonin rajapinnassa 9,69 g/m³ ja sisätilassa puolestaan 9,00 g/m³. Suhteellinen kosteus rakenneosien rajapinnassa on 75 % ja rakenteen sisäpinnassa 70 %. Kyllästymiskosteus- ja vesihöyrymääräkäyrät eivät leikkaa toisiaan, eli kosteutta ei tiivisty rakenteen poikkileikkauksessa. Kun sisätilaa esimerkiksi lämmitetään ja suhteellinen kosteus laskee 50 %:iin ja lämpötila nousee +20°C:een (Liite 14), kosteutta on ulkopinnassa edelleen 12,86 g/m³, rakenneosien rajapinnassa 9,40 g/m³ (RH 69 %) ja rakenteen sisäpinnassa 8,64 g/m³ (RH 57 %). Tässä tilanteessa kosteutta ei tiivisty rakenteessa.

7.3 Vesitiivis betoni ja bentoniitti

Bentoniittimatolle ei vaadita standardeissa testattavaksi vesihöyrynläpäisevyyttä/-vastusta, jota pystyisi hyödyntämään kosteustarkasteluissa. Bentoniittimaton vedenläpäisevyydeksi ilmoitetaan $1 \cdot 10^{-11}$ m/s, mitä ei tässä työssä voida hyödyntää laskelmissa. Bentoniittimatto siis läpäisee jonkun verran vettä. Tietyissä bentoniittimatoissa on kuitenkin toisessa pinnassa kankaan lisäksi ohut muovikalvo, jonka vesihöyryominaisuuksia voidaan käyttää hyväksi. Tällaisen polyeteenikalvon vesihöyrynvastus on $100\text{--}500 \cdot 10^9$ m²sPa/kg /8/. Käytetään bentoniittimatolle vesihöyrynvastukseksi tätä polyeteenikalvon vesihöyrynvastusta ja siitä raja-arvojen puolivälissä olevaa väliarvoa eli $300 \cdot 10^9$ m²sPa/kg. Voidaan ajatella, että tämä polyeteenikalvo on matosta se osuus, joka vastustaa vesihöyryä. Kuitenkin, koko bentoniittimattorakenne vastustaa vesihöyryä jonkin verran, eli todellisuudessa bentoniittimaton vesihöyrynvastus olisi korkeampi, eli vähemmän vesihöyryä kulkeutuisi rakenteen lävitse.

Tässä bentoniittimaton paksuus on 7 mm (Kaitos Oy, Voltex DS bentoniittimatto). Oletetaan, että maton ulkopinnoissa oleva polypropeenikuitukangas on kummallakin puolella noin 1 mm paksu, toisessa kankaassa kiinni oleva polyeteenimuovi 0,2 mm ja tällöin bentoniitin paksuus noin 5 mm.

Kirjallisuudessa bentoniittimatolle ei ole määriteltynä lämmönjohtavuuden/-vastuksen arvoa. Tämä voidaan kuitenkin määritellä laskennallisesti (kaava 3) hyväksikäyttämällä bentoniittimaton eri osien ominaisia lämmönjohtavuuksia /4/. Polypropeenin lämmönjohtavuus on 0,22 W/mK /4/. Polyeteenin lämmönjohtavuus on 0,4 W/mK /14/. Bentoniitin lämmönjohtavuus on 0,17–0,19 W/mK /17/. Tässä laskennassa käytetään kirjallisuudesta löytyvän bentoniitin lämmönjohtavuusarvojen keskiarvoa tuloksien neutralisoinemiseksi.

Kun rakenneosan ainekerrokset ovat tasapaksuisia ja homogeenisia sekä lämpö siirtyy niihin nähden kohtisuoraan, lasketaan rakennusosan lämmönvastus /4/:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}, \text{ jossa} \quad (3)$$

R_T = rakennusosan

kokonaislämmönvastus [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

R_{si} = sisäpuolinen pintavastus

[$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$] = $0 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$

R_{se} = ulkopuolinen pintavastus

[$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$] = $0 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$

$R_n = d_n / \lambda_n$ = ainekerroksen

lämmönvastus [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

d_n = ainekerroksen paksuus [m]

λ_n = ainekerroksen lämmönjohtavuus

[W/mK]

R_1 = polypropeenikerroksien

lämmönvastus [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$] =

$2 * (0,001 / 0,22) = 0,0045 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$

R_2 = polyeteenikerroksen

lämmönvastus [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$] =

$(0,0002 / 0,4) = 0,0005 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$

R_3 = bentoniittikerroksen

lämmönvastus [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$] =

$(0,005 / 0,18) = 0,028 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$

Tässä ei huomioida ulko- ja sisäpuolista pintavastusta, sillä kyseessä on vain rakenteosan lämmönvastuksen laskeminen. DOF-Lämpö käyttää pintavastuksia kokonaisrakenteen lämpö- ja kosteustarkasteluihin. Rakenteeseen kuuluu tässä bentoniittimaton lisäksi vesitiivis betoni. Tämän vuoksi pintavastuksia ei oteta useaan kertaan huomioon.

Tässä bentoniittimaton lämmönvastukseksi saadaan $0,033 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$. DOF-Lämpötarkastelussa vesitiivis betoni ja bentoniittimatto muodostavat alapohjarakenteen.

Kun sisätilan suhteellinen kosteus on 40 % ja lämpötila $+20^\circ\text{C}$ (Liite 15), betonin ja bentoniitin rajapinnassa on $6,81 \text{ g}/\text{m}^3$ (RH 83%) kosteutta ja rakenteen sisäpinnassa puolestaan $6,91 \text{ g}/\text{m}^3$ (RH 61 %). Sisätilan suhteellisen kosteuden laskettua 35 %: iin (Liite 16) rajapinnassa on kosteutta $6,49 \text{ g}/\text{m}^3$ (RH 79 %) ja sisäpinnassa

6,05 g/m³ (RH 54 %). Kun sisätilan suhteellinen kosteus on 50 % ja lämpötila +20°C (Liite 17), kosteutta rakenneosien rajapinnassa on 7,46 g/m³ (RH 90 %) ja sisäpinnassa 8,64 g/m³ (RH 76 %). Kyllästymiskosteus- ja vesihöyrykäyrät eivät leikkaa toisiaan poikkileikkauksessa missään edellä mainituissa tarkasteluissa.

Suhteellisen kosteuden noustessa 70 %:iin ja lämpötilan ollessa +20°C (Liite 18), kosteutta on rajapinnassa 8,75 g/m³ ja sisäpinnassa 12,10 g/m³. Molemmissa pinnoissa suhteellinen kosteus on 100 %. Kun sisätilan lämpötila on +15°C (Liite 19), kyllästymiskosteus ja vesihöyrymääräkäyrät eivät leikkaa toisiaan. Tällöin kosteutta rakenneosien rajapinnassa on 7,59 g/m³ (RH 98 %) ja sisäpuolisessa pinnassa 9,00 g/m³ (RH 94 %).

Kun suhteellinen kosteus sisätilassa on 80 % ja lämpötila +15°C (Liite 20), kosteutta rajapinnassa on 8,08 g/m³ ja sisäpuolen pinnassa 10,29 g/m³. Molemmissa pinnoissa suhteellinen kosteus on 100 % eli vesihöyryä kondensoituu.

Mikäli maaperän lämpötila on +15°C (mahdollista, kun rakenne on alle 3 metriä maanpinnasta, jolloin maaperän lämpötila noudattelee ulkolämpötilaa ja sen vaihteluita) sekä sisätilassa RH 70 % ja lämpötila +15°C (Liite 21), ulkopuolella on kosteutta 12,86 g/m³, kermin ja betonin rajapinnassa 11,41 g/m³ (RH 89 %) ja sisäpinnassa puolestaan 9,00 g/m³ (RH 70 %). Kyllästymiskosteus- ja vesihöyrymääräkäyrät eivät leikkaa toisiaan, eli kosteutta ei tiivisty rakenteen poikkileikkauksessa. Kun sisätilaa esimerkiksi lämmitetään ja suhteellinen kosteus laskee 50 %:iin ja lämpötila nousee +20°C:een (Liite 22), kosteutta on ulkopinnassa edelleen 12,86 g/m³, rakenneosien rajapinnassa 11,28 g/m³ (RH 69 %) ja rakenteen sisäpinnassa 8,64 g/m³ (RH 57 %). Tässä tilanteessa kosteutta ei tiivisty rakenteessa.

8 LASKENTATARKASTELUIDEN ANALYSOINTI

Kosteusteknisessä tarkastelussa on kohteena eripaksuisia rakenteita vesitiiviistä betonista sekä vakiopaksuisia vesitiiviitä betonirakenteita erilaisissa olosuhteissa. Tarkastelujen keskeisimpiä tuloksia on koottu taulukkoon (Taulukko 5.). DOF-Lämpö ei ota huomioon pohjavedenpinnasta aiheutuvaa vedenpainetta, eikä myöskään kapillaarista kosteusvirtaa. Voidaan ajatella, että mikäli betonirakenteen vastaiselle maalle toteutetaan kapillaarikatko hyödyntäen maalajien kapillaari-ilmiön vastaisia ominaisuuksia, eivät betonirakenne ja jatkuva vedeneristys edes altistu kapillaariselle vedelle. Tällöin kosteustekninen suunnittelukin on riskittömämpää. Kosteustarkastelut ovat siis melko yksinkertaistettuja, mutta antavat suuntaa kosteustekniselle suunnittelulle vedenpaineellisissa kellarirakenteissa.

Kosteustarkastelut on toteutettu erilaisissa sisä- ja ulkotilan olosuhteissa, jotta saavutettaisiin vertailtavia tuloksia. Tuloksista tehtyjä johtopäätöksiä ohjenuorina käyttäen voidaan suunnitella realistisin olosuhtein yksittäisen rakennuksen kellarirakenteiden kosteudenhallintaa. Esimerkiksi sisätilan olosuhde, RH 70 % ja lämpötila +20°C ei välttämättä ole kovin realistinen, sillä näinkin korkea suhteellinen kosteus ilmenee useimmiten maan alla lämmittämättömässä tilassa, jolloin lämpötila saattaisi olla pienempi tai yhtä suuri kuin +15°C.

Jotta vedeneristys (bitumikermi, bentoniittimatto tms.) pysyy tiiviisti betonissa eikä rajapintaan muodostu tiivistynyttä kosteutta, on huolehdittava, että diffuusion suunta on ulkoa sisätilaan. Tämä toteutuu, kun rakenteen sisäpinnassa vesihöyrymäärä (g/m^3) on pienempi kuin vedeneristeen ja betonin rajapinnassa. Tällöin betoni kuivuisi sisätiloihin päin. Kuten laskelmista huomataan, kaikissa tapauksissa niin ei ole. Rakenteen ollessa syvällä maaperässä, maaperän lämpötila on hyvin alhainen ja suhteellinen kosteus maksimaalinen, jolloin olosuhteiden sisätiloissa tulisi olla todella kuivat ja lämpimät edellä mainitun toteutumiseksi.

Taulukko 5. DOF-Lämpö-laskelmien tuloksia.

rakennetyyppi	paksuus (mm)	T, maaperä (°C)	RH, sisätila (%)	T, sisätila (°C)	RH, sisäpinta (%)	RH, rakenneosien rajapinta (%)	diffuusion suunta ulkoa sisälle
vesitiivis betoni	300	4,8	40	20	60		EI
	300	4,8	35	20	53		KYLLÄ
	300	4,8	70	20	100		EI
	300	4,8	70	15	93		EI
	400	4,8	70	15	90		EI
	250	4,8	70	15	95		EI
vesitiivis betoni + bitumikermi	303,3	4,8	40	20	59	84	EI
	303,3	4,8	35	20	51	76	KYLLÄ
	303,3	4,8	50	20	73	100	EI
	303,3	4,8	70	20	100	100	EI
	303,3	4,8	70	15	91	100	EI
	303,3	4,8	80	15	100	100	EI
	303,3	15,0	70	15	70	75	KYLLÄ
	303,3	15,0	50	20	57	69	KYLLÄ
vesitiivis betoni + bentoniittimatto	307	4,8	40	20	61	83	EI
	307	4,8	35	20	54	79	KYLLÄ
	307	4,8	50	20	76	90	EI
	307	4,8	70	20	100	100	EI
	307	4,8	70	15	94	98	EI
	307	4,8	80	15	100	100	EI
	307	15,0	70	15	70	89	KYLLÄ
	307	15,0	50	20	57	69	KYLLÄ

Huomataan, että kun maaperän lämpötila on suurempi, myös sisätilan olosuhteet voivat olla kosteammat ja lämpimämmät, eikä tällöin rakenneosiin tai niiden pintoihin tiivisty vettä. Maaperän lämpötila on suurempi, kun rakennetaan lähemmäs maanpintaa, jolloin maaperän lämpötila noudattelee ulkoilman lämpötilaa ja sen vaihteluita. Rakennettaessa yli 3 metrin syvyydelle, on maaperän lämpötila vuoden lokaalissa keskiarvossa koko vuoden. Tällöin täytyy tehdä suuri työ sisätilan lämmityksessä ja ilmanvaihdossa, jotta olosuhteet saadaan sellaisiksi, että betonirakenne kuivuu sisätilaan päin eikä rakenneosien rajapintaan tiivisty vettä.

Laskentatuloksista huomataan myös, että mitä ohuempi rakenne on, sitä nopeammin rakenne saavuttaa lämpö- ja kosteustasapainotilan, jolloin poikkileikkauksessa kyllästymiskosteus- ja vesihöyrykäyrien leikkaaminen on todennäköisempää.

Bentoniittimatto läpäisee vesihöyryn lisäksi vettä, mitä ei oteta huomioon laskentaohjelmassa, mutta se on syytä huomioida lisäkosteusrasituksena betonirakenteelle. Käytettäessä bentoniittimattoa esimerkiksi alapohjarakenteessa, on syytä kiinnittää erityishuomiota siihen, että bentoniittimatosta läpi pääsevä vesi pääsee rakenteen toisella puolella haihtumaan sisätilaan, eikä tiivisty rakenteen sisäpintaan. Tämä saavutetaan sisätilojen olosuhteiden huolellisella suunnittelulla, tarkastelulla ja toteutuksella. Ilmanvaihdolla on suuri merkitys sisätilan olosuhteiden säätelyllä.

9 YHTEENVETO

Koska vedenpaineellisen kellarirakenteen kosteusrasitukset ovat huomattavat, on rakenteiden suunnitteluun ja ympäristön kosteusolosuhteiden tarkasteluun paneuduttava huolellisesti. Mitä syvemmälle maaperään sekä alemmas pohjavedenpinnasta kellarirakenteita rakennetaan, sitä suuremmat ovat vedenpaineen ja maaperän olosuhteiden aiheuttamat rasitukset ja suunnittelun haasteet.

Kosteuden siirtymistä voidaan hallita erilaisin menetelmin. Näiden menetelmien lisäksi on syytä paneutua rakennusfysikaalisiin lainalaisuuksiin, jotta rakenteen toimivuus ja säilyvyys on taattu. Rakennesuunnittelun ja toteutuksessa tulisi minimoida riskit, joita rakenteiden välillä oleva olosuhde-epätasapaino aiheuttaa. Käytännössä tämä tarkoittaa sellaisen tilanteen huomioimista, jolloin rakenne ei enää toimisi kosteusteknisesti suunnitellusti. Tällöin rakenteen toiminnalle aiheutuvat haittavaikutukset tulee estää sopivin keinoin.

Erilaisille rakennetyypeille suoritettava kosteustekninen laskentatarkastelu on erinomainen keino havainnollistamaan rakenteiden rakennusfysikaalista toimintaa kirjallisuuden teorian tietojen tueksi.

Teoriaosuuden lähdekirjallisuus on rakentamisen ammattilaisten uusimpia virasto-, liitto- ja yhdistystasolla tuottamia tietoja, ohjeita sekä määräyksiä. Näin ollen lähteitä voidaan pitää luotettavina ja ajan tasalla olevina. Tässä työssä rakennetyypeissä esiintyville materiaaleille ja rakenneosille ei esiinny kirjallisuudessa suoraan kosteusteknisessä tarkastelussa hyödynnettäviä arvoja, vaan joudutaan yleistämään ja arvioimaan ominaisuusarvoja. Sen lisäksi laskentaohjelma on yksinkertaistettu, joten laskennan tulosten tarkasteluun on syytä suhtautua jollain tasolla kriittisesti.

Tämä työ on hyödyllinen väline vedenpaineellisten kellarirakenteiden kosteustekniseen suunnitteluun, koska juuri näiden rakenteiden suunnittelussa huomioitavat asiat on esitetty sekä teoriamuotoisesti, että käytännön esimerkkejä hyödyntäen. Myös erilaiset toteutustavat ovat esillä selkeästi. On kuitenkin huomioitava, että jokainen rakennus on suunniteltava tapauskohtaisesti rakenteiden toimivuuden taakamiseksi.

LÄHTEET

- /1/ Asuntorakentamissanasto. 1995. Rakennustieto Oy. RT-Net palvelu. RT SA-40095. Viitattu 25.1.2017. https://www-rakennustieto-fi.ezproxy.puv.fi/kortistot/rt/fi/index/tietolahteet_ja_sanastot/listaus/1094/RT_2677.html.stx.
- /2/ RakMK. C2 Kosteus. Määräykset ja ohjeet. Helsinki: Ympäristöministeriö. 1999. 16 s.
- /3/ Lehto H., Havukainen R., Maalampi J., Leskinen J. 2009. Fysiikka 2, Lämpö. 1. painos. Helsinki. Kustannusosakeyhtiö Tammi.
- /4/ Siikanen U. 2014. Rakennusfysiikka, perusteet ja sovelluksia. Helsinki. Rakennustieto Oy.
- /5/ RIL 121-2004. Pohjarakennusohjeet. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry. 2004. 137 s.
- /6/ Leivo V, Rantala J. 2006. Maanvastaisten alapohjarakenteiden lämpö ja kosteus. Jyväskylän Rakennusteollisuuden Kustannus RTK Oy.
- /7/ Vedenpaineeneristys. 2011. Rakennustieto Oy. RT-Net palvelu. RT 83-11032. Viitattu 27.1.2017. <https://www-rakennustieto-fi.ezproxy.puv.fi/kortistot/tuotteet/102973.html.stx>.
- /8/ RIL 107-2012. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry. 2012. 219 s.
- /9/ Betoniteollisuus ry. Betoni, ominaisuudet ja edut. Viitattu 30.1.2017. <http://betoni.com/tietoabetonista/perustietopaketti/ominaisuudet-ja-edut/>.
- /10/ Suomen Betoniyhdistys ry. 2012. Betonitekniikan oppikirja 2004, by 201. Seitsemäs painos. Helsinki. BY-Koulutus Oy.
- /11/ Korkka-Niemi K., Salonen V-P. 1996. Maanalaiset vedet-pohjavesigeologian perusteet. Ensimmäinen painos. Turku. Turun yliopiston täydennyskoulutuskeskus.
- /12/ RakMK. D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet. Helsinki: Ympäristöministeriö. 2012. 23 s.
- /13/ Suomen betoniyhdistys ry. 2007. Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu 2007, by 51. Helsinki. Suomen Betonitieto Oy.
- /14/ RIL 255-1-2014. Rakennusfysiikka 1, Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry. 2014. 500 s.
- /15/ Pitkäranta M. 2016. Ympäristöopas 2016, Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Helsinki. Ympäristöministeriö.

/16/ SFS-EN 1992-3. Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 3: Nestesäiliöt ja silot. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 2006. 23 s.

/17/ Kivikoski H., Heimonen I., Hyttinen H. 2015. Bentonite Pellet Thermal Conductivity Techniques and Measurements. Viitattu 29.3.2017. Posiva Oy. http://www.posiva.fi/files/4011/WR_2015-09.pdf

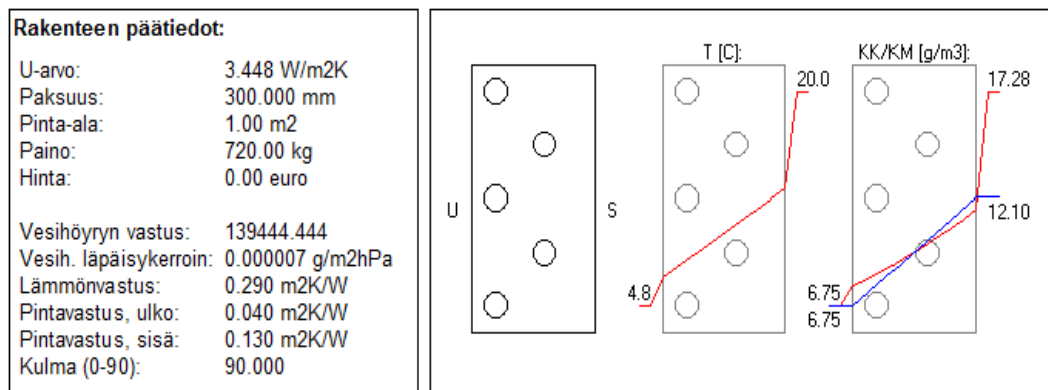
LIITE 1

Rakenteen päätiedot: U-arvo: 3.448 W/m ² K Paksuus: 300.000 mm Pinta-ala: 1.00 m ² Paino: 720.00 kg Hinta: 0.00 euro Vesihöyryn vastus: 139444.444 Vesih. läpäisykerroin: 0.000007 g/m ² hPa Lämmönvastus: 0.290 m ² K/W Pintavastus, ulko: 0.040 m ² K/W Pintavastus, sisä: 0.130 m ² K/W Kulma (0-90): 90.000					
Rakenteen kerrostiedot:		Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)			
KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [m ² sPa/kg]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Vesitiivis betoni	300.00	2.5000	5.020000e+11	0.00	2400.00
T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys					
Lämpötilat ja kosteudet:		RH40%, T 20C (744.0 h)			Lisätiedot: vesitiivis betoni 300mm. ei erillistä vedenpaineeneristystä. ulkopuolella maaperässä RH 100%. sisätilassa lämpötila 20C, RH 40%.
Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	
U	4.80	6.75	6.75	100.0	
1	6.90	7.75	6.75	87.1	
2	13.19	11.52	6.91	60.0	
S	20.00	17.28	6.91	40.0	
Tiivistymis- / homevaara ! (SK_max = 100.0 %) T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus					

LIITE 2

Rakenteen päätiedot: U-arvo: 3.448 W/m2K Paksuus: 300.000 mm Pinta-ala: 1.00 m2 Paino: 720.00 kg Hinta: 0.00 euro Vesihöyryn vastus: 139444.444 Vesih. läpäisykerroin: 0.000007 g/m2hPa Lämmönvastus: 0.290 m2K/W Pintavastus, ulko: 0.040 m2K/W Pintavastus, sisä: 0.130 m2K/W Kulma (0-90): 90.000						
Rakenteen kerrostiedot:		Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)				
	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [m2sPa/kg]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1	Vesitiivis betoni	300.00	2.5000	5.020000e+11	0.00	2400.00
<p>T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys</p>						
Lämpötilat ja kosteudet:		RH35%, T 20C (744.0 h)			Lisätiedot:	
Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:	vesitiivis betoni 300mm.
U	4.80	6.75	6.75	100.0	0.00	ei erillistä vedenpaineeneristystä.
1	6.90	7.75	6.75	87.1	0.00	ulkopuolella maaperässä RH 100%.
2	13.19	11.52	6.05	52.5	0.00	sisätilassa lämpötila 20C, RH 35%.
S	20.00	17.28	6.05	35.0	0.00	
<p>Tiivistymis- / homevaara ! (SK_max = 100.0 %) T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus</p>						

LIITE 3



Rakenteen kerrostiedot:		Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)				
KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [m ² sPa/kg]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:	
1 Vesitiivis betoni	300.00	2.5000	5.020000e+11	0.00	2400.00	

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

Lämpötilat ja kosteudet:					RH70%, T20C (744.0 h)	Lisätiedot:
Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:	
U	4.80	6.75	6.75	100.0	0.00	vesitiivis betoni 300mm. ei erillistä vedenpaineeneristystä. ulkopuolella maaperässä 4.8C, RH 100%. sisätilassa lämpötila 20C, RH 70%.
1	6.90	7.75	6.75	87.1	0.00	
2	13.19	11.52	12.10	100.0	6138.24	
S	20.00	17.28	12.10	70.0	0.00	

Tiivistymis- / homevaara ! (SK_max = 100.0 %)
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

LIITE 4

Rakenteen päätiedot: U-arvo: 3.448 W/m2K Paksuus: 300.000 mm Pinta-ala: 1.00 m2 Paino: 720.00 kg Hinta: 0.00 euro Vesihöyryn vastus: 139444.444 Vesih. läpäisykerroin: 0.000007 g/m2hPa Lämmönvastus: 0.290 m2K/W Pintavastus, ulko: 0.040 m2K/W Pintavastus, sisä: 0.130 m2K/W Kulma (0-90): 90.000					
Rakenteen kerrostiedot:		Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)			
KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [m2sPa/kg]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1 Vesitiivis betoni	300.00	2.5000	5.020000e+11	0.00	2400.00
<p>T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys</p>					
Lämpötilat ja kosteudet:		RH70%, T15C (744.0 h)			Lisätiedot: vesitiivis betoni 300mm. ei erillistä vedenpaineeneristystä. ulkopuolella maaperässä 4.8C, RH 100%. sisätilassa lämpötila 15C, RH 70%.
Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	
U	4.80	6.75	6.75	100.0	
1	6.21	7.41	6.75	91.1	
2	10.43	9.71	9.00	92.7	
S	15.00	12.86	9.00	70.0	
Tiivistymis- / homevaara ! (SK_max = 100.0 %) T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus					

LIITE 5

Rakenteen päätiedot: U-arvo: 3.030 W/m2K Paksuus: 400.000 mm Pinta-ala: 1.00 m2 Paino: 960.00 kg Hinta: 0.00 euro Vesihöyryn vastus: 185925.917 Vesih. läpäisykerroin: 0.000005 g/m2hPa Lämmönvastus: 0.330 m2K/W Pintavastus, ulko: 0.040 m2K/W Pintavastus, sisä: 0.130 m2K/W Kulma (0-90): 90.000						
Rakenteen kerrostiedot:		Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)				
	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [m2sPa/kg]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1	Vesitiivis betoni	400.00	2.5000	6.693333e+11	0.00	2400.00
<p>T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys</p>						
Lämpötilat ja kosteudet:					RH70%, T15C (744.0 h)	
Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:	
U	4.80	6.75	6.75	100.0	0.00	
1	6.04	7.33	6.75	92.2	0.00	
2	10.98	10.05	9.00	89.5	0.00	
S	15.00	12.86	9.00	70.0	0.00	
Tiivistymis- / homevaara ! (SK_max = 100.0 %) T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus						
					Lisätiedot: vesitiivis betoni 400mm. ei erillistä vedenpaineeneristystä. ulkopuolella maaperässä 4.8C, RH 100%. sisätilassa lämpötila 15C, RH 70%.	

LIITE 6

Rakenteen päätiedot: U-arvo: 3.704 W/m ² K Paksuus: 250.000 mm Pinta-ala: 1.00 m ² Paino: 600.00 kg Hinta: 0.00 euro Vesihöyryn vastus: 116203.694 Vesih. läpäisykerroin: 0.000009 g/m ² hPa Lämmönvastus: 0.270 m ² K/W Pintavastus, ulko: 0.040 m ² K/W Pintavastus, sisä: 0.130 m ² K/W Kulma (0-90): 90.000						
Rakenteen kerrostiedot:		Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)				
	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [m ² sPa/kg]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1	Vesitiivis betoni	250.00	2.5000	4.183333e+11	0.00	2400.00
<p>T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys</p>						
Lämpötilat ja kosteudet:					RH70%, T15C (744.0 h)	
Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:	
U	4.80	6.75	6.75	100.0	0.00	
1	6.31	7.46	6.75	90.5	0.00	
2	10.09	9.51	9.00	94.7	0.00	
S	15.00	12.86	9.00	70.0	0.00	
Tiivistymis- / homevaara ! (SK_max = 100.0 %) T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus						
					Lisätiedot: vesitiivis betoni 250mm. ei erillistä vedenpaineeneristystä. ulkopuolella maaperässä 4.8C, RH 100%. sisätilassa lämpötila 15C, RH 70%.	

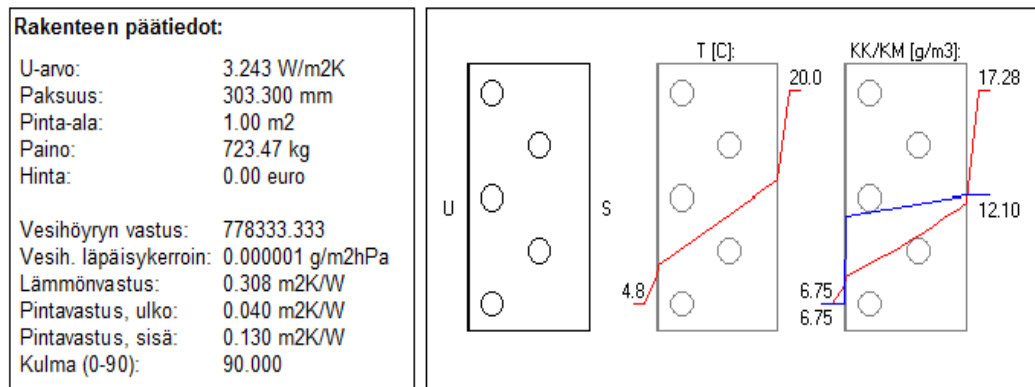
LIITE 8

Rakenteen päätiedot: U-arvo: 3.243 W/m ² K Paksuus: 303.300 mm Pinta-ala: 1.00 m ² Paino: 723.47 kg Hinta: 0.00 euro Vesihöyryn vastus: 778333.333 Vesih. läpäisykerroin: 0.000001 g/m ² hPa Lämmönvastus: 0.308 m ² K/W Pintavastus, ulko: 0.040 m ² K/W Pintavastus, sisä: 0.130 m ² K/W Kulma (0-90): 90.000						
Rakenteen kerrostiedot:		Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)				
	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [m ² sPa/kg]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1	Bitumikermi	3.30	0.1800	2.300000e+12	0.00	1050.00
2	Vesitiivis betoni	300.00	2.5000	5.020000e+11	0.00	2400.00
T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys						
Lämpötilat ja kosteudet:					RH35%, T 20C (744.0 h)	
Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:	
U	4.80	6.75	6.75	100.0	0.00	
1	6.77	7.69	6.75	87.8	0.00	
2	7.68	8.15	6.18	75.7	0.00	
3	13.59	11.81	6.05	51.2	0.00	
S	20.00	17.28	6.05	35.0	0.00	
Tiivistymis- / homevaara ! (SK_max = 100.0 %) T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus						
					Lisätiedot: vesitiivis betoni 300mm. bitumi vedenpaineeneristeenä. ulkopuolella maaperässä 4.8C, RH 100%. sisätilassa lämpötila 20C, RH 35%.	

LIITE 9

Rakenteen päätiedot: U-arvo: 3.243 W/m ² K Paksuus: 303.300 mm Pinta-ala: 1.00 m ² Paino: 723.47 kg Hinta: 0.00 euro Vesihöyryn vastus: 778333.333 Vesih. läpäisykerroin: 0.000001 g/m ² hPa Lämmönvastus: 0.308 m ² K/W Pintavastus, ulko: 0.040 m ² K/W Pintavastus, sisä: 0.130 m ² K/W Kulma (0-90): 90.000					
Rakenteen kerrostiedot:		Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)			
KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [m ² sPa/kg]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Bitumikermi	3.30	0.1800	2.300000e+12	0.00	1050.00
2 Vesitiivis betoni	300.00	2.5000	5.020000e+11	0.00	2400.00
<p>T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys</p>					
Lämpötilat ja kosteudet:		RH50%, T 20C (744.0 h)			Lisätiedot: vesitiivis betoni 300mm. bitumi vedenpaineeneristeenä. ulkopuolella maaperässä RH 100%. sisätilassa lämpötila 20C, RH 50%.
Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	
U	4.80	6.75	6.75	100.0	
1	6.77	7.69	6.75	87.8	
2	7.68	8.15	8.30	100.0	
3	13.59	11.81	8.64	73.2	
S	20.00	17.28	8.64	50.0	
Tiivistymis- / homevaara ! (SK_max = 100.0 %) T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus					

LIITE 10



Rakenteen kerrostiedot:		Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)				
KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [m ² sPa/kg]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:	
1 Bitumikermi	3.30	0.1800	2.300000e+12	0.00	1050.00	
2 Vesitiivis betoni	300.00	2.5000	5.020000e+11	0.00	2400.00	

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

Lämpötilat ja kosteudet:		RH70%, T20C (744.0 h)				Lisätiedot:
Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:	
U	4.80	6.75	6.75	100.0	0.00	vesitiivis betoni 300mm. bitumi vedenpaineeneristeenä. ulkopuolella maaperässä 4.8C, RH 100%. sisätilassa lämpötila 20C, RH 70%.
1	6.77	7.69	6.75	87.8	0.00	
2	7.68	8.15	11.14	100.0	2.48	
3	13.59	11.81	12.10	100.0	3966.21	
S	20.00	17.28	12.10	70.0	0.00	

Tiivistymis- / homevaara ! (SK_max = 100.0 %)
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

LIITE 11

Rakenteen pää tiedot:						
U-arvo:	3.243 W/m ² K					
Paksuus:	303.300 mm					
Pinta-ala:	1.00 m ²					
Paino:	723.47 kg					
Hinta:	0.00 euro					
Vesihöyryn vastus:	778333.333					
Vesih. läpäisykerroin:	0.000001 g/m ² hPa					
Lämmönvastus:	0.308 m ² K/W					
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W					
Pintavastus, sisä:	0.130 m ² K/W					
Kulma (0-90):	90.000					

Rakenteen kerrostiedot:						
KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [m ² sPa/kg]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:	
1 Bitumikermi	3.30	0.1800	2.300000e+12	0.00	1050.00	
2 Vesitiivis betoni	300.00	2.5000	5.020000e+11	0.00	2400.00	

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)						
	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:	
U	4.8	6.75	6.75	100.0	0.00	
1	6.12	7.37	6.75	91.6	0.00	
2	6.73	7.67	8.60	100.0	0.95	
3	10.70	9.88	9.00	91.1	0.00	
S	15.00	12.86	9.00	70.0	0.00	

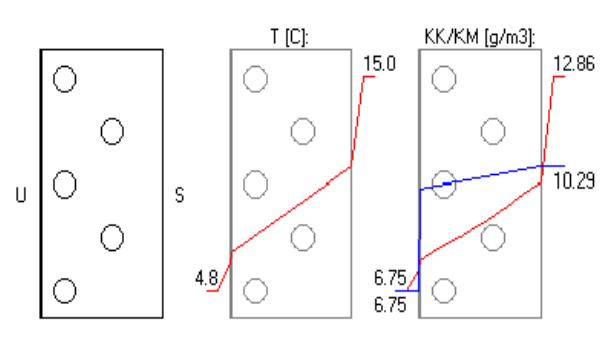
Lämpötilat ja kosteudet:						
RH70%, T 15C (744.0 h)						
Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:	
U	4.80	6.75	6.75	100.0	0.00	
1	6.12	7.37	6.75	91.6	0.00	
2	6.73	7.67	8.60	100.0	0.95	
3	10.70	9.88	9.00	91.1	0.00	
S	15.00	12.86	9.00	70.0	0.00	

Lisätiedot:						
vesitiivis betoni 300mm.						
bitumi vedenpaineeneristeenä.						
ulkopuolella maaperässä 4.8C, RH 100%.						
sisätilassa lämpötila 15C, RH 70%.						

Tiivistymis- / homevaara ! (SK_max = 100.0 %)						
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus						

LIITE 12

Rakenteen pää tiedot:	
U-arvo:	3.243 W/m ² K
Paksuus:	303.300 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	723.47 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	778333.333
Vesih. läpäisykerroin:	0.000001 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	0.308 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.130 m ² K/W
Kulma (0-90):	90.000



Rakenteen kerrostiedot:		Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)				
KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [m ² sPa/kg]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:	
1 Bitumikermi	3.30	0.1800	2.300000e+12	0.00	1050.00	
2 Vesitiivis betoni	300.00	2.5000	5.020000e+11	0.00	2400.00	

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

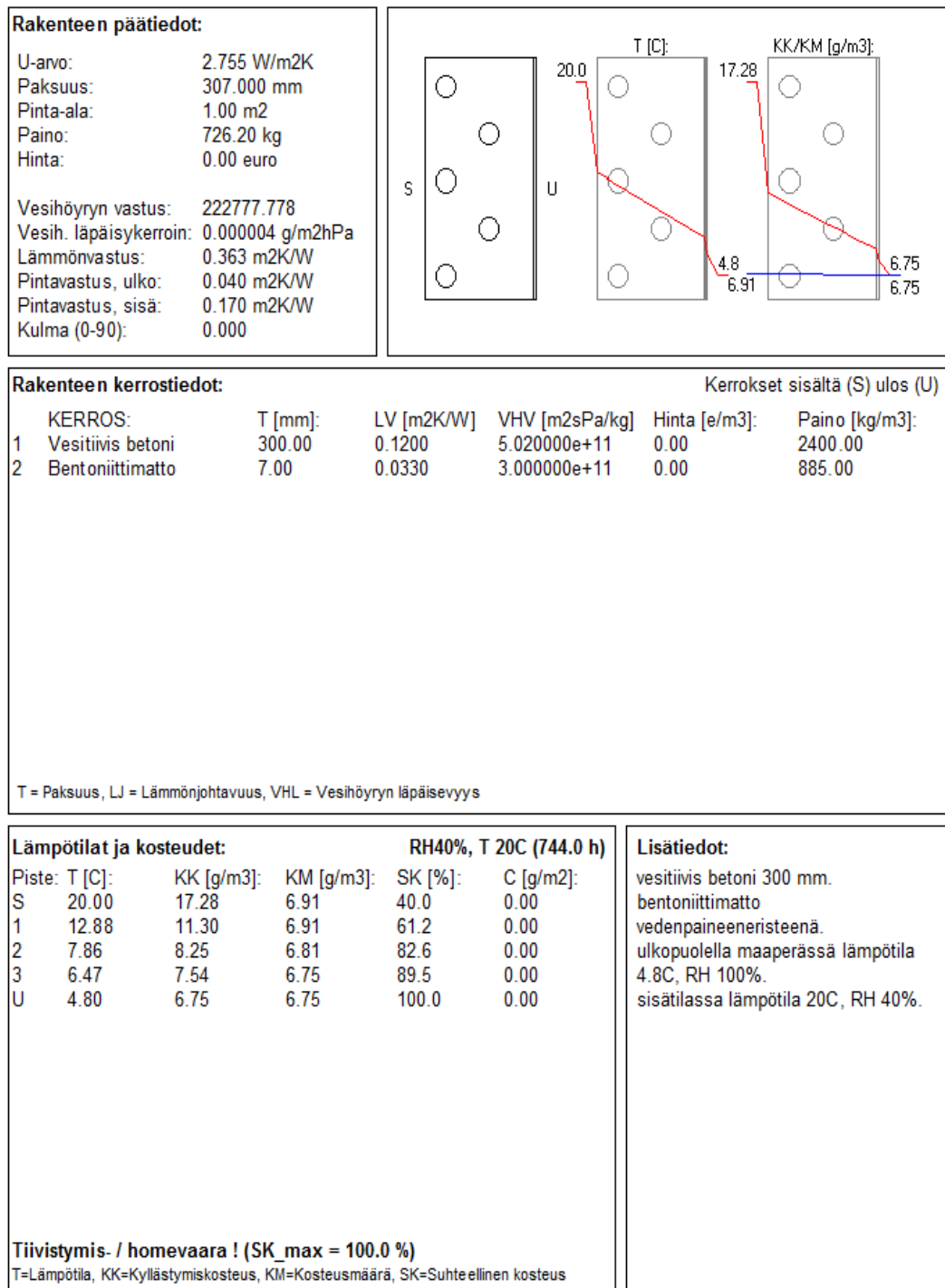
Lämpötilat ja kosteudet:		RH80%, T 15C (744.0 h)			Lisätiedot:	
Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:		C [g/m ²]:
U	4.80	6.75	6.75	100.0	0.00	vesitiivis betoni 300mm. bitumi vedenpaineeneristeenä. ulkopuolella maaperässä 4.8C, RH 100%. sisätilassa lämpötila 15C, RH 80%.
1	6.12	7.37	6.75	91.6	0.00	
2	6.73	7.67	9.65	100.0	1.47	
3	10.70	9.88	10.29	100.0	3946.85	
S	15.00	12.86	10.29	80.0	0.00	

Tiivistymis- / homevaara ! (SK_max = 100.0 %)
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

LIITE 14

Rakenteen pää tiedot: U-arvo: 3.243 W/m ² K Paksuus: 303.300 mm Pinta-ala: 1.00 m ² Paino: 723.47 kg Hinta: 0.00 euro Vesihöyryn vastus: 778333.333 Vesih. läpäisykerroin: 0.000001 g/m ² hPa Lämmönvastus: 0.308 m ² K/W Pintavastus, ulko: 0.040 m ² K/W Pintavastus, sisä: 0.130 m ² K/W Kulma (0-90): 90.000					
Rakenteen kerrostiedot:		Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)			
KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [m ² sPa/kg]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Bitumikermi	3.30	0.1800	2.300000e+12	0.00	1050.00
2 Vesitiivis betoni	300.00	2.5000	5.020000e+11	0.00	2400.00
T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys					
Lämpötilat ja kosteudet:		RH50%, T 20C (744.0 h)			Lisätiedot:
Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	15.00	12.86	12.86	100.0	0.00
1	15.65	13.37	12.86	96.1	0.00
2	15.95	13.61	9.40	69.0	0.00
3	17.89	15.28	8.64	56.6	0.00
S	20.00	17.28	8.64	50.0	0.00
Tiivistymis- / homevaara ! (SK_max = 100.0 %) T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus					
vesitiivis betoni 300mm. bitumi vedenpaineeneristeenä. ulkopuolella maaperässä lämpötila 15C, RH 100%. sisätilassa lämpötila 20C, RH 50%.					

LIITE 15



LIITE 16

Rakenteen päätiedot:		Kerrokset sisältä (S) ulos (U)					
U-arvo:	2.755 W/m2K	KERROS:	T [mm]:	LV [m2K/W]	VHV [m2sPa/kg]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
Paksuus:	307.000 mm	1 Vesitiivis betoni	300.00	0.1200	5.020000e+11	0.00	2400.00
Pinta-ala:	1.00 m2	2 Bentoniittimatto	7.00	0.0330	3.000000e+11	0.00	885.00
Paino:	726.20 kg						
Hinta:	0.00 euro						
Vesihöyryn vastus:	222777.778						
Vesih. läpäisykerroin:	0.000004 g/m2hPa						
Lämmönvastus:	0.363 m2K/W						
Pintavastus, ulko:	0.040 m2K/W						
Pintavastus, sisä:	0.170 m2K/W						
Kulma (0-90):	0.000						
		<p>T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys</p>					
Rakenteen päätiedot:		Lämpötilat ja kosteudet:					
		RH35%, T 20C (744.0 h)					
		Piste: T [C]: KK [g/m3]: KM [g/m3]: SK [%]: C [g/m2]:					
		S 20.00 17.28 6.05 35.0 0.00					
		1 12.88 11.30 6.05 53.5 0.00					
		2 7.86 8.25 6.49 78.7 0.00					
		3 6.47 7.54 6.75 89.5 0.00					
		U 4.80 6.75 6.75 100.0 0.00					
		Lisätiedot:					
		vesitiivis betoni 300 mm.					
		bentoniittimatto					
		vedenpaineeneristeenä.					
		ulkopuolella maaperässä lämpötila					
		4.8C, RH 100%.					
		sisätilassa lämpötila 20C, RH 35%.					
		Tiivistymis- / homevaara ! (SK_max = 100.0 %)					
		T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus					

LIITE 17

Rakenteen päätiedot:		T [C]:		KK/KM [g/m3]:	
U-arvo:	2.755 W/m2K	20.0	17.28	17.28	
Paksuus:	307.000 mm				
Pinta-ala:	1.00 m2				
Paino:	726.20 kg				
Hinta:	0.00 euro				
Vesihöyryn vastus:	222777.778				
Vesih. läpäisykerroin:	0.000004 g/m2hPa				
Lämmönvastus:	0.363 m2K/W				
Pintavastus, ulko:	0.040 m2K/W				
Pintavastus, sisä:	0.170 m2K/W				
Kulma (0-90):	0.000				

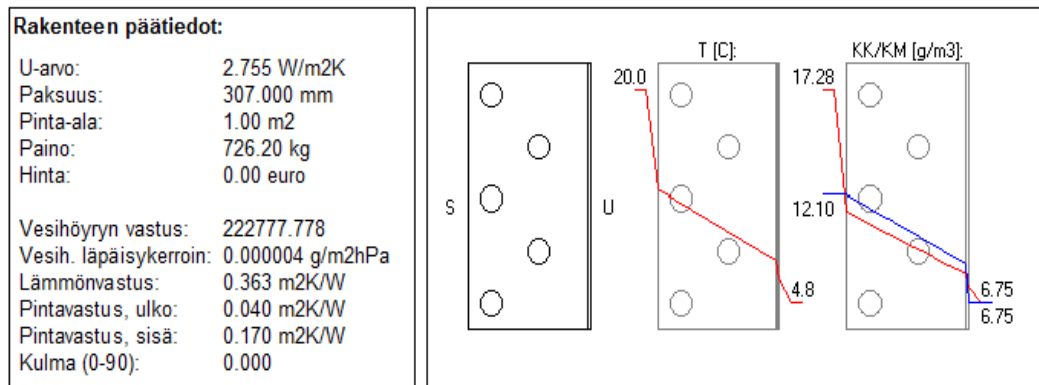
Rakenteen kerrostiedot:		Kerrokset sisältä (S) ulos (U)				
KERROS:	T [mm]:	LV [m2K/W]	VHV [m2sPa/kg]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:	
1 Vesitiivis betoni	300.00	0.1200	5.020000e+11	0.00	2400.00	
2 Bentoniittimatto	7.00	0.0330	3.000000e+11	0.00	885.00	

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

Lämpötilat ja kosteudet:		RH50%, T 20C (744.0 h)				Lisätiedot:
Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:	
S	20.00	17.28	8.64	50.0	0.00	vesitiivis betoni 300 mm. bentoniittimatto vedenpaineeneristeenä. ulkopuolella maaperässä lämpötila 4.8C, RH 100%. sisätilassa lämpötila 20C, RH 50%.
1	12.88	11.30	8.64	76.4	0.00	
2	7.86	8.25	7.46	90.4	0.00	
3	6.47	7.54	6.75	89.5	0.00	
U	4.80	6.75	6.75	100.0	0.00	

Tiivistymis- / homevaara ! (SK_max = 100.0 %)
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

LIITE 18



Rakenteen kerrostiedot:		Kerrokset sisältä (S) ulos (U)				
KERROS:	T [mm]:	LV [m ² K/W]	VHV [m ² sPa/kg]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:	
1 Vesitiivis betoni	300.00	0.1200	5.020000e+11	0.00	2400.00	
2 Bentoniittimatto	7.00	0.0330	3.000000e+11	0.00	885.00	

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

Lämpötilat ja kosteudet:		RH70%, T 20C (744.0 h)				Lisätiedot:
Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:	
S	20.00	17.28	12.10	70.0	0.00	vesitiivis betoni 300 mm. bentoniittimatto vedenpaineeneristeenä. ulkopuolella maaperässä lämpötila 4.8C, RH 100%. sisätilassa lämpötila 20C, RH 70%.
1	12.88	11.30	12.10	100.0	7737.80	
2	7.86	8.25	8.75	100.0	0.44	
3	6.47	7.54	6.75	89.5	0.00	
U	4.80	6.75	6.75	100.0	0.00	

Tiivistymis- / homevaara ! (SK_max = 100.0 %)
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

LIITE 19

Rakenteen päätiedot:		Kerrokset sisältä (S) ulos (U)					
U-arvo:	2.755 W/m2K	KERROS:	T [mm]:	LV [m2K/W]	VHV [m2sPa/kg]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
Paksuus:	307.000 mm	1 Vesitiivis betoni	300.00	0.1200	5.020000e+11	0.00	2400.00
Pinta-ala:	1.00 m2	2 Bentoniittimatto	7.00	0.0330	3.000000e+11	0.00	885.00
Paino:	726.20 kg						
Hinta:	0.00 euro						
Vesihöyryn vastus:	222777.778						
Vesih. läpäisykerroin:	0.000004 g/m2hPa						
Lämmönvastus:	0.363 m2K/W						
Pintavastus, ulko:	0.040 m2K/W						
Pintavastus, sisä:	0.170 m2K/W						
Kulma (0-90):	0.000						
		T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys					
		Lämpötilat ja kosteudet:		RH70%, T 15C (744.0 h)		Lisätiedot:	
		Piste: T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:	vesitiivis betoni 300 mm.
		S 15.00	12.86	9.00	70.0	0.00	bentoniittimatto
		1 10.22	9.59	9.00	93.9	0.00	vedenpaineeneristeenä.
		2 6.85	7.73	7.59	98.2	0.00	ulkopuolella maaperässä lämpötila
		3 5.92	7.27	6.75	92.9	0.00	4.8C, RH 100%.
		U 4.80	6.75	6.75	100.0	0.00	sisätilassa lämpötila 15C, RH 70%.
		Tiivistymis- / homevaara ! (SK_max = 100.0 %)					
		T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus					

LIITE 20

Rakenteen pää tiedot:		Kerrokset sisältä (S) ulos (U)					
U-arvo:	2.755 W/m2K	KERROS:	T [mm]:	LV [m2K/W]	VHV [m2sPa/kg]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
Paksuus:	307.000 mm	1 Vesitiivis betoni	300.00	0.1200	5.020000e+11	0.00	2400.00
Pinta-ala:	1.00 m2	2 Bentoniittimatto	7.00	0.0330	3.000000e+11	0.00	885.00
Paino:	726.20 kg	T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys					
Hinta:	0.00 euro						
Vesihöyryn vastus:	222777.778						
Vesih. läpäisykerroin:	0.000004 g/m2hPa						
Lämmönvastus:	0.363 m2K/W						
Pintavastus, ulko:	0.040 m2K/W						
Pintavastus, sisä:	0.170 m2K/W						
Kulma (0-90):	0.000						
Lämpötilat ja kosteudet:		RH80%, T 15C (744.0 h)					
Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:	Lisätiedot:	
S	15.00	12.86	10.29	80.0	0.00	vesitiivis betoni 300 mm.	
1	10.22	9.59	10.29	100.0	6100.52	bentoniittimatto	
2	6.85	7.73	8.08	100.0	0.18	vedenpaineeneristeenä.	
3	5.92	7.27	6.75	92.9	0.00	ulkopuolella maaperässä lämpötila 15C, RH 100%.	
U	4.80	6.75	6.75	100.0	0.00	sisätilassa lämpötila 15C, RH 70%.	
Tiivistymis- / homevaara ! (SK_max = 100.0 %)							
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus							

LIITE 22

Rakenteen pää tiedot:		T [C]:		KK/KM [g/m3]:	
U-arvo:	2.755 W/m2K	20.0	17.28	12.86	12.86
Paksuus:	307.000 mm				
Pinta-ala:	1.00 m2				
Paino:	726.20 kg				
Hinta:	0.00 euro				
Vesihöyryn vastus:	222777.778				
Vesih. läpäisykerroin:	0.000004 g/m2hPa				
Lämmönvastus:	0.363 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]:	LV [m2K/W]	VHV [m2sPa/kg]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:	
1 Vesitiivis betoni	300.00	0.1200	5.020000e+11	0.00	2400.00	
2 Bentoniittimatto	7.00	0.0330	3.000000e+11	0.00	885.00	

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

Lämpötilat ja kosteudet:		RH50%, T 20C (744.0 h)				
Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:	
S	20.00	17.28	8.64	50.0	0.00	
1	17.66	15.07	8.64	57.3	0.00	
2	16.01	13.66	11.28	82.6	0.00	
3	15.55	13.30	12.86	96.7	0.00	
U	15.00	12.86	12.86	100.0	0.00	

Lisätiedot:
vesitiivis betoni 300 mm.
bentoniittimatto
vedenpaineeneristeenä.
ulkopuolella maaperässä lämpötila 15C, RH 100%.
sisätilassa lämpötila 20C, RH 50%.

Tiivistymis- / homevaara ! (SK_max = 100.0 %)
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus