



Jori Koivulahti

RAKENNUKSEN RAKENNUSAIKAINEN KUIVATTAMINEN

RAKENNUKSEN RAKENNUSAIKAINEN KUIVATTAMINEN

Jori Koivulahti
Opinnäytetyö
Syksy 2013
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikka, talonrakennustekniikan suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Jori Koivulahti
Opinnäytetyön nimi: Rakennuksen rakennusaikainen kuivattaminen
Työn ohjaajat: Kimmo Illikainen ja Juha Kortesus
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2013
Sivumäärä: 50 + 5 liitettä

Rakenteet on kuivatettava ennen niiden päällystystä. Tavoitearviota tehtäessä olisi tiedettävä, kuinka paljon rahaa on varattava kuivatusta varten. Rakennustoimisto Pohjola Oy halusi selvittää, miten paljon rahaa olisi varattava tavoitearviossa kuivatusta varten.

Lämmön ja kosteuden fysikaalisia ominaisuuksia tulee tuntea, jotta tiedetään, miten ne käyttäytyvät eri olosuhteissa. Lämmön osalta vaikuttavia tekijöitä ovat johtuminen, konvektio ja säteily. Kosteuden osalta niitä ovat painovoimainen siirtyminen, kapillaarisuus, diffuusio ja kosteuskonvektio. Ilman olosuhteet vaikuttavat edellä mainittujen käyttäytymiseen.

Työmaan mahdollisia energian lähteitä ovat sähkö, nestekaasu, polttoöljy ja kaukolämpö osittain. Energian lähteitä tarvitaan kuivatusjärjestelmiä varten, mitkä tässä työssä olivat pääkohtana. Kuivatusjärjestelmät voidaan jakaa avoimeen ja suljettuun järjestelmään. Avoimessa kuivatusjärjestelmässä kuivatettava tila lämmitetään ja tuuletetaan, jolloin kosteus poistuu tilasta. Suljetussa kuivatusjärjestelmässä tila tiivistetään mahdollisimman hyvin ja rakennuskuivaimella kuivatetaan huoneilmaa.

Rakenteiden kuivumisaikoihin tutustuttiin kirjallisuuden perusteella, jotta voitaisiin saada käsitys siitä, miten kauan kuivattamiseen menee aikaa. Esimerkki kohteen avulla tehtiin laskentapohja ja malli kuivumiskustannusten laskentaan. Laskentapohjaa käytettiin kohteiden laskemiseen. Kohteista kerättiin myös todelliset kuluerät siitä, mitä kuivatukseen oli mennyt, ja ne jaettiin kohteen rakennuksen kuutiolavuudella.

Tuloksissa esiintyi hieman hajontaa, mutta suuntaa antava tulos kyllä oli. Tulos 5 euroa/m³ on arvio, koska teoreettinen kustannustulos oli enemmän koko prosessia käsittävä, ja kohteista kerätyistä tiedoista muodostuneet kustannukset eivät olleet keskenään täysin vertailukelpoisia. Vaikka tulos arvio onkin, se on hyvä suuntaa antava arvio. Tarkkuutta tälle saisi seuraamalla työmaita ja keräämällä niistä vastaavia kuivatuskustannusten tekijöitä.

Asiasanat: rakennus, rakennusfysiikka, kuivatus, kustannus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, Option of House Building

Author: Jori Koivulahti

Title of thesis: Drainage of Building during Construction Phase

Supervisors: Kimmo Illikainen and Juha Korteso

Term and year when the thesis was submitted: Fall 2013

Pages: 50 + 5 appendices

Structures must be dried before covering them. Making a budgeting goal for a project, it is necessary to know, how much money drying needs. Rakennustoimisto Pohjola Oy wanted to know how much money they should reserve for drying.

The physical features of heat and humidity must be known so that it can be predicted how they react in different circumstances. For heat the effecting factors are conduction, convection and radiation. The factors for humidity are gravity shift, capillarity, diffusion and moisture convection. The circumstances of air affect the way the above mentioned factors react.

A construction site's possible energy sources are electricity, liquid gas, fuel oil and partly district heating. Energy sources are needed for drainage systems which are the main focus in this thesis. Drainage systems can be separated into an open system and a closed system. In the open system the drying area is heated and ventilated so that extra humidity moves out. In the closed system the drying area must be sealed as well as possible and let a construction dryer dry the air.

The drying time for constructions was explored by literature so that some kind of understanding of the time of drying would be gained. A calculation model and a pattern for calculating the costs for drying was made with an example. The pattern was used for a real project calculation. Information about the costs of the real project was collected and they were divided by the cubic volume of the building.

There was a little dispersion in the results, but it was still suggestive. The result, 5 euros/m³, is an estimation because theoretical calculation is dealing more with the whole process, and information about the real projects were not entirely compatible. Even though the result is an estimation, it is a well suggestive estimation. More accuracy for this result can be got by collecting these same numbers for drying costs.

Keywords: building, building physics, drainage, cost

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 LÄMPÖ- JA KOSTEUSFYSIIKKAA	8
2.1 Lämmön siirtyminen	8
2.2 Kosteuden siirtyminen	10
2.3 Ympäröivät olosuhteet	11
3 KUIVATUSJÄRJESTELMÄT	16
3.1 Energian lähteet	16
3.2 Ilman lämmittäminen yhdistettynä hyvään tuuletukseen	17
3.3 Ilmankuivain	18
3.4 Pinnan lämmittäminen	19
4 BETONIN KOSTEUS	20
4.1 Betonin kosteudentuotto huonetilaan	21
4.2 Betonin kuivuminen	22
5 KOKEELLISIA BETONIN KUIVUMISAIKOJA	25
5.1 Maanvastainen teräsbetoni-laatta	25
5.2 Massiivinen teräsbetoni-laatta – välipohja/väliseinä	27
5.3 Kuorilaattarakenteet	28
5.4 Ontelolaatta	30
5.4.1 Ontelolaatta ja lattiatasoite	31
5.4.2 Ontelolaatta ja pintabetoni-valu	32
5.5 Kololaatta ja jälkivalu	34
5.6 Kerrokselliset betoni-laatat	36
6 KUIVATUSJÄRJESTELMÄN VALINTA	39
6.1 Esimerkin kuivatus	39
6.2 Kuivumisajat	40
6.3 Laskennassa käytettävät kaavat	41
6.4 Esimerkin tulokset	43
7 KOHTEET	45

7.1 Tuusanpuisto, Nummela	45
7.2 Sepänahjo, Jyväskylä	45
7.3 Lentävänniemen Lokki, Tampere	46
7.4 Harjun Seppä, Nokia	47
7.5 Kohteiden yhteenveto	47
8 POHDINTA	49
LÄHTEET	50
LIITTEET	
Liite 1 Esimerkin laskelmat	
Liite 2 Tuusanpuiston laskelmat	
Liite 3 Sepänahjon laskelmat	
Liite 4 Lentävänniemen Lokin laskelmat	
Liite 5 Harjun Sepän laskelmat	

1 JOHDANTO

Rakennettaessa uudiskohteita tulee betonivaluja eteen ennemmin tai myöhemmin. Betonin valuvaiheen vesimäärästä haihtuu vettä lähes puolet alkupe-
räisestä määrästä pois. Tämä kosteus pitäisi saada rakennuksesta ja varsinkin rakenteista pois ennen päällystystöitä. Tarpeeksi kuivat rakenteet ennalta ehkäisevät kosteusvaurioiden syntyä.

Tämän työn on tilannut rakennusliike Rakennustoimisto Pohjola Oy, joka rakentaa uudiskohteita pääasiassa Pirkanmaalla, mutta myös jonkin verran Etelä-Suomessa pääkaupunkiseudulla ja sen tuntumassa.

Työssä käsitellään lämpö- ja kosteusfysiikkaa siltä osin, mikä vaikuttaa kuivatamiseen. Lisäksi käydään läpi erilaisia kuivatusmenetelmiä ja niihin tarvittavaa laitteistoa. Kustannustehokas kuivattaminen pyritään saavuttamaan oikeanlaisen kuivatusmenetelmän valinnalla huomioon ottaen vuodenajan mukaiset ulko-olosuhteet.

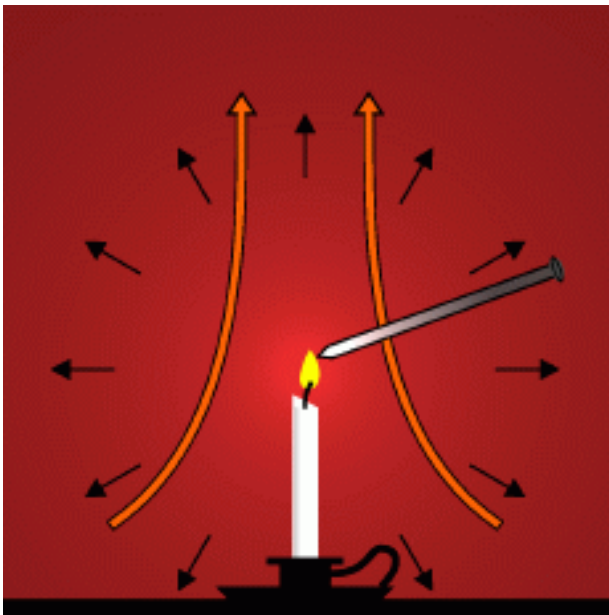
Vertailuksi otetaan muutama todellinen kohde, jossa kuivatus on jo suoritettu, mittaustulokset sekä kustannukset ovat vielä tuoreessa muistissa ja asiakirjat helposti löydettävissä. Tavoitteena on selvittää, kuinka paljon tavoitearviossa olisi syytä varata rahaa kuivattamista varten.

2 LÄMPÖ- JA KOSTEUSFYSIKAA

Lämpö, ilman suhteellinen kosteus ja ilman vaihtuvuus ovat tekijät, jotka vaikuttavat oleellisesti rakenteiden kuivumiseen. Toisaalta lämpö ja kosteus ovat myös ne tekijät, jotka aiheuttavat kosteusvaurioita rakenteissa. Jotta kosteusvaurioita voisi ennalta ehkäistä, on tiedettävä, miten ne käyttäytyvät. Tässä luvussa käydään läpi lämmön ja kosteuden fysikaalisia ominaisuuksia.

2.1 Lämmön siirtyminen

Täytyy tietää, miten lämpö voi siirtyä tilaan ja tilasta pois, jotta lämpötila saadaan pidettyä tasaisena. Lämpö voi siirtyä johtumalla, konvektiolla tai säteilemällä. Kuvassa 1 näkyy kaikki edellä mainitut siirtymismuodot. Naulaa pitkin lämpö johtuu, kynttilän ympärillä ilma siirtyy konvektion avulla ja kynttilän liekki säteilee lämmintä ilmaa ympärilleen.



KUVA 1. Lämmön siirtymismuodot esitettynä samassa kuvassa

Johtuminen

Lämmön johtuessa lämpö pyrkii siirtymään jotain, yleensä kiinteää, väliainetta pitkin ja tasoittamaan lämpötila eron väliaineessa. Tällaisesta on hyvänä esimerkkinä kuvan 1 kaltainen tilanne, jossa naulaa lämmitetään liekillä toisesta päästä ja toisesta päästä pidetään kiinni. Jonkin ajan kuluttua naula on koko-

naan niin kuuma, ettei sitä voi paljain käsin pidellä. Tällöin lämpö on johtunut lämmitettävästä päästä koko nauhaan. (Björkholz 1990, 10–15.)

Rakennuksissa puhutaan kylmäsilloista. Kylmäsiltoja pitkin lämpö johtuu lämpimästä tilasta kylmään tilaan. Kylmäsilta on hieman harhaan johtava termi, koska lämpö liikkuu aina lämpimästä kylmään. Edellisen esimerkin mukaista johtumista rakennuksessa pääsee tapahtumaan tiiliseinän sidetankojen avulla. Side-tangon toinen pää on lämpimämmässä rakenteessa kuin toinen pää, joten lämpötila pyrkii tasoittumaan johtumalla, ja tästä syystä rakenteeseen syntyy kylmäsilta ja mahdollinen lämpövuoto-kohta.

Konvektio

Konvektiossa lämmön siirtymisen väliaineena normaalisti toimii kaasu tai neste, jonka mukana lämpö pääsee siirtymään. Konvektio voi olla pakotettua, luonnollista tai näiden yhdistelmiä. Luonnollinen konvektio tapahtuu, kun eri tiheyksiset ilmassat pyrkivät tasoittumaan. Pakotetussa konvektiossa puolestaan ilmassoja työntää joku ulkopuolinen voima, kuten tuuletin, tuuli tai ihmisten liikkeestä johtuva ilmavirta. Esimerkkeinä konvektiosta voisi mainita ilman osalta savupiipun ja veden osalta lämmityspatterin. Savupiipussa alhaalla oleva lämmin harva ilma lähtee nousemaan ylöspäin tiheämpää ilmaa kohti. Tässä tapauksessa konvektio on luonnollista. Veden mukana lämpö siirtyy esimerkiksi, kun lämmityskattilassa lämmitetään vesi, joka lähtee virtaamaan kiertoputkistoon ja sitä kautta lämmityspatteriin. Patterista lämpö siirtyy säteilemällä ja konvektiolla. Ilma patterin vieressä lämpenee säteilemällä ja lämminilma lähtee nousemaan ylöspäin. Tästä syystä verhot saattavat heilua, jos ne on laitettu patterin yläpuolelle. (Björkholz 1990, 17–22.)

Rakennuksessa konvektiota esiintyy kevyiden ja ohuiden rakenteiden läpi sekä ilmastoinnissa pakotettuna konvektiona. Konvektiota pyritään estämään rakennuksen vaipassa asentamalla ilmansulkukerros. Jokaisella materiaalilla on ominainen ilmanjohtavuus arvo λ . Mitä pienempi tämä arvo on, sitä paremmin se estää konvektion.

Säteily

Kaikki kappaleet, jotka ovat absoluuttisen nollapisteen ($-273,15\text{ °C} = 0\text{ K}$) yläpuolella, lähettävät eli emittoivat säteilyä. Säteily välittyy sähkömagneettisena aaltoliikkeenä. Tärkein säteilijä ihmisille on aurinko. Rakennuksen lämmön siirtymisessä säteilyllä ei juuri ole vaikutusta. Kuivatuksessa toki voidaan käyttää säteilylämmittäjää. Lisäksi auringon säteilyllä on merkitystä rakennusten ulkopintojen lämpötilaan. Auringon puolella pintalämpötila saattaa olla $5\text{--}10\text{ °C}$ korkeampi kuin varjon puolella. (Björkholz 1990, 15–17.)

2.2 Kosteuden siirtyminen

Kosteudella on kolme olomuotoa: kaasu eli vesihöyry, neste eli vesi ja kiinteä eli lumi tai jää. Kosteus pystyy siirtymään missä olomuodossa tahansa. Kiinteä ja neste on helpompia hallita, koska ne pystytään lähes aina näkemään ja niitä pystyy mekaanisesti ohjaamaan tai poistamaan. Vesihöyryä ei aina näe, joten on tiedettävä, missä sitä on ja kuinka paljon sitä voi olla.

Painovoimainen siirtyminen

Vesi kiinteänä ja nesteenä siirtyy lähes aina painovoimaisesti alaspäin, ellei se kohtaa esteitä. Poikkeuksena on kapillaarinen siirtyminen, jossa kapillaariset voimat saattavat olla suuremmat kuin maanvetovoima. Jotkut painovoimaiset siirtymät ovat toivottavia, kuten kattoa tai ränniä pitkin kulkeva vesi. Vesi tulee alas myös rakenteisiin kuulumattomista rei'istä ja koloista, ja saattaa aiheuttaa vaurioita. (Sisäilmayhdistys 2008a.)

Kapillaarinen siirtyminen

Materiaalin koskettaessa vapaaseen veteen tai toiseen kapillaarisella kosteusalueella olevaan materiaaliin, vesi pääsee siirtymään kapillaarisesti materiaalin, pääsääntöisesti veden, pintajännitysvoimien aiheuttaman huokosalipaineen vaikutuksesta. Materiaali on kapillaarisella kosteusalueella, kun suhteellinen kosteus materiaalin sisällä on ≥ 98 prosenttia. Huokosalipaine vaikuttaa materiaalissa joka suuntaan, jolloin vesi pääsee siirtymään kapillaarisesti joka suuntaan. Kapillaarinen kosteustasapaino saavutetaan, kun kosteus nousee korkeudelle, jossa huokosalipaineen voima ja maan vetovoima ovat tasapainossa.

Paksumpi rakenne pystyy siirtämään enemmän kosteutta kuin ohut. Myös rakenteiden ympärillä olevan ilman suhteellisella kosteudella on suuri merkitys. Jos ilman suhteellinen kosteus on 100 prosenttia, ei ilma voi sitoa rakenteista haihtuvaa kosteutta, vaan kapillaarinen siirtyminen rakenteessa jatkuu. (Sisäilmayhdistys 2008a.)

Diffuusio

Diffuusio johtuu ilman osapaineiden erosta, jossa osapaineet pyrkivät tasapainoon. Diffuusiovirtauksen mukana pääsee vesihöyry liikkumaan. Ulkoilman ollessa kylmempi kuin sisäilma, on sisällä suurempi osapaine. Suurempi osapaine liikkuu aina pienemmän suuntaan. Mitä suurempi osapaineiden ero on, sitä voimakkaammin ne pyrkivät tasoittumaan. Jos rakennuksessa käytetään ilman-sulkukerrosta, estää se konvektion mutta ei diffuusiota. Talvisin diffuusion aiheuttama kosteusvaurio riski on suurin. Jos sisällä oleva kosteus pääsee diffuusion vaikutuksesta siirtymään rakenteeseen eikä ehdi siirtyä kunnolla ulkoilmaan, niin kosteus voi päästä tiivistymään rakenteen sisään. (Sisäilmayhdistys 2008a.)

Kosteuskonvektio

Ilmassa oleva suhteellinen kosteus liikkuu konvektion vaikutuksesta, jolloin voidaan puhua kosteuskonvektiosta. Kosteuskonvektio ei poikkea millään tavalla konvektiosta normaalissa tilanteessa, sillä ilmassa on aina jonkin verran kosteutta. Kosteuskonvektion aiheuttavat riskit ovat samat kuin diffuusion aiheuttamat. (Sisäilmayhdistys 2008a.)

2.3 Ympäröivät olosuhteet

Kuivattamisen ideana on saada ylimääräinen kosteus rakenteesta pois, joten on tiedettävä, miten kosteus käyttäytyy eri olosuhteissa ja missä sitä esiintyy.

Ilman suhteellinen kosteus

Lämpötilalla on olemassa tietty kyllästymiskosteus eli käännettynä kyllästymiskosteus on riippuvainen vallitsevasta lämpötilasta. Taulukossa 1 esitetään lämpötiloille ominaiset kyllästyskosteudet ja kyllästyspaineet. Kyllästyskosteus (V_k) kertoo, miten paljon vesihöyryä mahtuu tiettyyn lämpötilaan. Kosteussisältö (V) taas kertoo, miten paljon vesihöyryä ilmassa on. Ilman suhteellinen kosteus on

vesihöyryn määrän eli kosteussisällön ja kyllästyskosteuden suhde. Se voidaan laskea kaavoilla 1 ja 2. (Björkholz 1990, 23–28.)

$$RH = \frac{V}{V_k} \times 100\%$$

KAAVA 1

V = kosteuspitoisuus
V_k = kyllästyskosteus.

Suhteellinen kosteus voidaan laskea myös osapaineen (p) ja kyllästyspaineen (p_k) suhteena.

$$RH = \frac{p}{p_k} \times 100\%$$

KAAVA 2

p = vesihöyryn osapaine
p_k = kyllästyspaine

TAULUKKO 1. Ilman kyllästysvesihöyrypitoisuus ja kyllästysosapaine lämpötilan funktiona (Alitalo 2010, 11)

t (°C)	v _k (g/m ³)	p _k (Pa)	t (°C)	v _k (g/m ³)	p _k (Pa)	t (°C)	v _k (g/m ³)	p _k (Pa)	t (°C)	v _k (g/m ³)	p _k (Pa)
-20	0,88	102	1	5,21	658	22	19,40	2640	43	59,41	8663
-19	0,95	111	2	5,58	708	23	20,54	2805	44	62,40	9128
-18	1,04	122	3	5,98	762	24	21,74	2979	45	65,52	9614
-17	1,14	135	4	6,40	818	25	23,00	3162	46	68,77	10122
-16	1,25	149	5	6,84	878	26	24,32	3355	47	72,15	10653
-15	1,38	164	6	7,31	941	27	25,71	3559	48	75,67	11207
-14	1,52	181	7	7,80	1008	28	27,17	3773	49	79,33	11786
-13	1,67	200	8	8,32	1079	29	28,70	3999	50	83,14	12390
-12	1,83	221	9	8,87	1154	30	30,31	4237	51	87,10	13020
-11	2,01	243	10	9,45	1234	31	31,99	4487	52	91,21	13677
-10	2,20	266	11	10,06	1318	32	33,75	4750	53	95,48	14362
-9	2,40	292	12	10,71	1408	33	35,60	5027	54	99,92	15075
-8	2,61	319	13	11,39	1502	34	37,54	5317	55	104,52	15818
-7	2,84	348	14	12,10	1603	35	39,56	5622	56	109,30	16592
-6	3,08	379	15	12,86	1708	36	41,68	5943	57	114,25	17397
-5	3,33	412	16	13,65	1820	37	43,90	6279	58	119,39	18234
-4	3,60	447	17	14,49	1939	38	46,21	6631	59	124,72	19105
-3	3,89	485	18	15,37	2064	39	48,63	7001	60	130,24	20010
-2	4,19	524	19	16,30	2197	40	51,16	7388	61	135,95	20951
-1	4,51	566	20	17,28	2337	41	53,79	7793	62	141,87	21928
0	4,85	611	21	18,31	2484	42	56,54	8218	63	147,99	22943

Ulkoilma

Ulkoilman olosuhteet vaihtelevat vuodenajan mukaan. Talvella, vaikka ilman suhteellinen kosteus olisi korkealla, kosteussisältö on silti pieni, kuten taulukko 1 osoittaa. Kesällä kosteussisältö on paljon korkeampi kuin talvella, vaikka suh-

teellisen kosteuden arvo olisi samaa luokkaa. Taulukossa 2 on esitetty muutamien eri paikkakunnan tietoja ulkoilman olosuhteista.

TAULUKKO 2. Tietoja on esitetty eräiden paikkakuntien ulkoilmasta 12 kuukauden ajalta. t on ilmanlämpötila, RH on suhteellinen kosteus, p on vesihöyryn paine ja v on vesihöyryn määrä (Björkholz 1990, 28)

		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Helsinki	t (°C)	-6,1	-6,6	-3,5	2,6	8,9	14,0	17,2	16,0	11,1	5,4	1,0	-2,6
	RH (%)	88	87	82	76	66	64	71	78	84	86	89	89
	p (Pa)	331	314	382	563	757	1025	1394	1420	1115	777	586	446
	v (g/m ³)	2,69	2,55	3,07	4,42	5,82	7,74	10,41	10,65	8,51	6,04	4,64	3,57
Turku	t	-6,0	-6,6	-3,6	2,2	8,7	13,9	17,1	15,7	10,6	5,2	0,9	-2,7
	RH	89	88	82	76	67	65	71	77	84	87	90	90
	p	337	317	379	546	758	1035	1386	1375	1079	775	588	447
	v	2,74	2,58	3,05	4,30	5,83	7,82	10,35	10,33	8,25	6,03	4,66	3,58
Jyväskylä	t	-8,8	-8,7	-4,8	2,0	8,7	13,9	16,9	15,0	9,8	3,8	-0,8	-5,0
	RH	89	87	81	75	68	65	72	80	86	88	91	90
	p	265	261	339	531	769	1035	1388	1366	1047	710	523	371
	v	2,17	2,14	2,74	4,19	5,92	7,82	10,37	10,29	8,03	5,56	4,17	3,00
Vaasa	t	-6,7	-6,9	-4,2	1,5	7,6	13,0	16,5	15,0	10,1	4,4	-0,1	-3,3
	RH	80	87	83	78	69	67	72	79	84	87	89	89
	p	282	305	365	533	725	1006	1353	1349	1044	733	540	422
	v	2,33	2,49	2,94	4,29	5,60	7,62	10,13	10,16	7,99	5,72	4,29	4,69
Kajaani	t	-10,6	-10,6	-6,7	0,4	6,9	13,0	16,1	14,0	8,3	2,1	-2,6	-7,0
	RH	86	85	81	75	67	66	69	78	84	87	90	88
	p	216	214	286	472	671	991	1264	1250	925	621	451	306
	v	1,79	1,77	2,36	3,75	5,19	7,51	9,48	9,44	7,13	4,89	3,61	2,50
Sodankylä	t	-13,5	-13,5	-8,9	-2,2	4,8	11,3	14,7	12,0	6,2	-0,5	-5,8	-9,8
	RH	85	83	80	73	67	65	69	78	84	88	89	89
	p	162	158	236	377	580	874	1157	1098	802	518	343	241
	v	1,36	1,32	1,94	3,01	4,52	6,67	8,72	8,35	6,22	4,12	2,79	1,99

Kuivatuksen kannalta talvi on hyvää aikaa, koska ulkoilma on valmiiksi kuivaa. Ulkoa tuleva kuivailma johdetaan sisään, jolloin kuiva ilma pystyy sitomaan itseensä rakenteissa olevan kosteuden. (Björkholz 1990, 28–29.)

Sisäilma

Sisäilman kosteus on riippuvainen ulkoilman kosteudesta, koska ilmanvaihdon mukana kulkeutuu ulkoilman kosteussisältö sisäilmaan muuttumattomana. Vuoden aikana ulko- ja sisälämpötila ovat pääsääntöisesti erisuuruiset, joten suhteellinen kosteus on ulkona ja sisällä eri. Asuttavassa sisätilassa on kosteuslähteitä useampia, jotka nostavat sisäilman kosteuspitoisuutta ja siten ilman suhteellista kosteutta ja kosteussisältöä. Sisätilan kosteuslähteitä ja niiden tuottamia kosteusmääriä on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Asuinrakennuksen sisätilan kosteudentuottoarvoja (RIL 107-2000, 40)

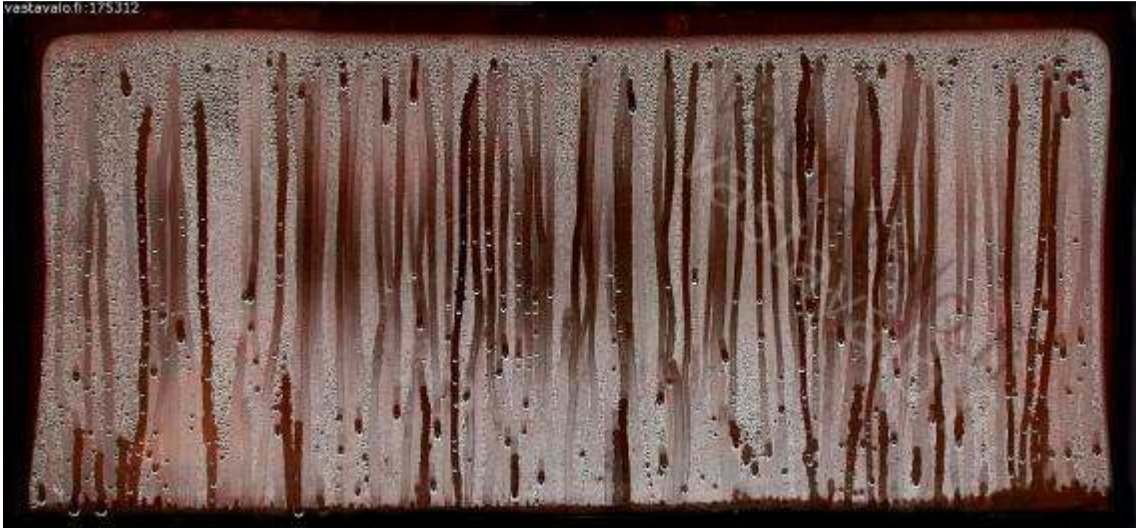
Kosteuslähde	Kosteustuotto
Ihminen	40...300 g/h riippuen aktiviteetista (keskimäärin 90 g/h)
Kylpy	700 g/h
Suihku	2600 g/h
Keittiötoiminta	600...1500 g/h (päivittäinen keskiarvo noin 100 g/h)
Avoin vesipinta	40 g/m ² h
Kasvit	
- Pienet kasvit	7...15 g/h
- Keskikokoiset	10...20 g/h
Vaatteiden pesu ja kuivaus	
- Lingottu pyykki	10...50 g/h /kg kuivaa pyykkiä
- vettä tippuva	20...100 g/h /kg kuivaa pyykkiä

Lisäksi sisäilmaan vaikuttaa ilmanvaihto. Tavallinen ilmanvaihto nopeus on 0,5 1/h, mikä tarkoittaa, että huonetilan ilmamäärästä puolet vaihtuu tunnissa ja koko ilmamäärä kerran kahdessa tunnissa. Jos ilmanvaihdon nopeus on >0,5, niin ilmavirtaukset ovat kovemmat. Tämä taas aiheuttaa asuinhuoneessa vedontunnetta, mutta kuivattaessa hyvä ilmanvaihtuvuus on hyväksi. Rakennusvaiheessa ilmanvaihtoa ei mikään pidä vakiona ennen vaipan tiivistämistä. Kun rakennuksen vaippa on saatu tiiviiksi, voidaan ilmanvaihtoa saada tasaisemmaksi väliaikaisella ilmanvaihtolaitteistolla tai hallitulla painovoimaisella ilmanvaihdolla. (Björkholz 1990, 29.)

Kosteuden tiivistyminen pintaan

Jos kappaleen tai materiaalin pintalämpötila on tarpeeksi alhainen verrattuna siinä tilassa olevan ilman lämpötilaan, tiivistyy ilmassa oleva vesihöyry tälle viileälle pinnalle. Lämpötilaa, jossa vesi tiivistyy, sanotaan kastepistelämpötilaksi. (Björkholz 1990, 29–31.)

Esimerkki: Kylpyhuoneen ulkoikkunalla on tietty pintalämpötila. Kun kylpyhuoneessa käytetään suihkua, nousee ilman lämpötila ja kosteuspitoisuus. Ikkunan lämpötila muuttuu paljon hitaammin kuin ilman, jolloin ikkunan pintaan tiivistyy kosteutta. Kuvassa 2 näkyy, miten lasiin on tiivistynyt vettä niin paljon, että vesi on alkanut valua.



KUVA 2. Lasiin tiivistynyttä kosteutta

3 KUIVATUSJÄRJESTELMÄT

Järjestelmät voidaan jakaa avoimeen ja suljettuun kuivatusjärjestelmään sekä pikakuivatukseen. Järjestelmät tarvitsevat toimiakseen käyttöenergiaa, jonka valinta tulee tehdä työmaakohtaisesti. Myös kuivatusjärjestelmä tulee valita työmaakohtaisesti vallitsevien ympäristöolosuhteiden mukaan.

3.1 Energian lähteet

Järjestelmien energian lähteenä voi olla sähkö, nestekaasu, polttoöljy tai kaukolämpö. Lähteitä erottaa valvonnan tarve, saatavuus, lähteelle ominaiset tarpeet hyötysuhde ja hinta. Hyötysuhde kertoo hankittavaan energiaan käytetyn energian ja siitä saatavan energian suhteesta.

Sähkö

Nykyään työmaiden sähkönjako on hoidettu siten, että sähköä saa rakennuksen joka nurkkaan. Sähkö ei tarvitse valvontaa eikä sillä ole sivutuotteita. Siksi sähkö on melko turvallista. Oikosulut ja sähkökatko voivat keskeyttää sähkön saannin. Sähkön hyötysuhde on 1,0, mikä on aivan hyvä. 1 kWh:sta ostettua energiaa saadaan 1 kWh energiaa käyttöön.

Nestekaasu

Nestekaasu tarvitsee aina säiliön varastointia varten. Nestekaasu palaa puhtaasti, joten siitä ei tule terveydelle haitallisia palokaasuja. Sen sijaan palosta syntyy vettä ja hiilidioksidia. 1 kg nestekaasua tuottaa noin 1,5 kg vettä ja noin 4,5 kg hiilidioksidia. Vesi täytyy johtaa pois, ettei se lisäisi kuivaustarvetta ja tuuletuksen on oltava riittävä, jotta hiilidioksidi saadaan sisätilasta pois. Lisäksi nestekaasulla on räjähdysvaara. Nestekaasun hyötysuhde on melko hyvä, 0,8 – 0,9. Kilogrammasta nestekaasua saadaan noin 550 litraa kaasua. Energiasisältö nestekaasussa on noin 13 kWh/kg ja puhtaasti palaakseen se tarvitsee noin 12 m³ ilmaa.

Polttoöljy

Polttoöljy ei pala puhtaasti, kuten nestekaasu, joten palokaasujen ja noen takia poltin tulee sijoittaa työmaalla siten, ettei se häiritse työmaata tai sen naapurus-

toa. Jos polttoöljysäiliötä pidetään kylmälle alttiissa paikassa, on myös huomioitava ulkoilman lämpötila. Kylmässä lämpötilassa tulee käyttää talvilaadun polttoöljyä. Lisäksi tulee huolehtia, että polttoainesäiliö on ehjä, sillä öljyvuoodoista syntyy monia lisäkustannuksia. Kevyen ja raskaan polttoöljyn energiasisällössä ei ole paljon eroa. Yleensä käytetään kevyttä polttoöljyä, jonka energiasisältö on 10,5 kWh/l. Hyötysuhde polttoöljyllä on 0,5.

Kaukolämpö

Kaukolämpöä voidaan käyttää jo rakennusvaiheessa hyväksi, jos rakennuksessa tulee olemaan vesikiertoinen lämmitys. Lämmönvaihtimelta kuuma vesi johdetaan kennoon, josta lämpö puhalletaan ilmaan. Tässä järjestelmässä lämpöä ei tarvitse tuottaa työmaalla, vaan se voidaan johtaa kaukolämmöstä. Lämmitysjärjestelmän olisi kuitenkin hyvä olla valmis, jotta lopullinen lämmitys voitaisiin ottaa mahdollisimman nopeasti käyttöön. Lopullisen lämmitysjärjestelmän etuna on, että lämmittimiä ei tarvitse siirrellä, ylimääräisiä vuokra kustannuksia ei synny ja lämpö jakautuu tasaisemmin rakennuksen sisällä.

3.2 Ilman lämmittäminen yhdistettynä hyvään tuuletukseen

Talvella ja keväällä ilman kosteussisältö ulkona on alhaalla, kuten taulukko 2 osoittaa. Ilmanvaihdon mukana kulkeva kosteussisältö on sama ulkona ja sisällä. Erona on, että ulkona ilman suhteellinen kosteus on korkealla ja sisällä matalalla. Rakenteista pääsee siirtymään kosteutta ilmaan, kun sisäilman suhteellinen kosteus on matalalla. Sisällä ilman suhteellinen kosteus olisi hyvä pitää 50 prosentissa. Jotta suhteellisen kosteuden ero saadaan ulko- ja sisäilman välille, on sisätilan oltava lämmitetty.

Pelkkä lämmittäminen ei riitä, koska rakenteesta siirtynyt kosteus on saatava rakennuksesta pois. Siksi on järjestettävä tarvittava tuuletus, joka vie kostean ilman ulos ja tuo kuivan ilman sisään. Rakennuksen varsinaista ilmanvaihtojärjestelmää ei tule kuitenkaan käyttää, ettei rakennuspöly ja muu lika pääse ilmanvaihtokanaviin. Ilmanvaihdon riittävyttä pystyy seuraamaan suhteellisen kosteuden avulla siten, että jos suhteellinen kosteus on paljon alle 50 prosenttia, niin ilma vaihtuu liian nopeasti. Liian nopea ilmanvaihto lisää lämmitys kustannuksia, eikä näin ole kannattavaa. Jos suhteellinen kosteus on paljon 50

prosentin päälle, tulee ilmanvaihtoa kasvattaa. Ilman vaihtuvuuden vuoksi tätä sanotaan avoimeksi järjestelmäksi.

3.3 Ilmankuivain

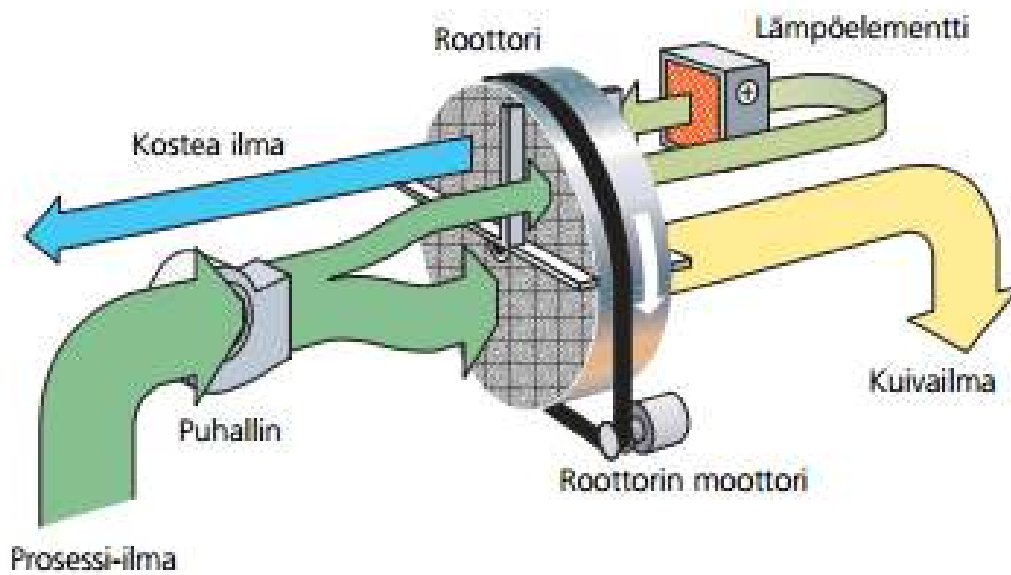
Kesällä ja syksyllä ilman kosteussisältö on suuri ja ero ulko- ja sisätilan välillä vastaavasti pieni. Ilma ei tällöin pysty vastaanottamaan paljoa kosteutta, vaikka tuuletus olisikin hyvä. Ilma täytyy kuivattaa koneellisesti. Ilmankuivaimia on kahdenlaisia: kondenssikuivain ja adsorptiokuivain. Molemmat kuivaimet vaativat tiiviin rakennuksen, koska muuten kuivain alkaa kuivattaa huoneilman lisäksi ulkoilmaa, mikä kasvattaa kustannuksia, lisää kuivatusaikaa ja heikentää tehokkuutta. Tiiviin rakennuksen vuoksi tätä kuivaustapaa sanotaan suljetuksi järjestelmäksi.

Kondenssikuivain

Kondenssikuivain toimii siten, että huonetilassa oleva ilma puhalletaan kuivaimen läpi, jossa sen lämpötila lasketaan kastepisteen alapuolelle. Ilman kosteus tiivistyy kuivaimessa tiivistymiselle tarkoitetuille pinnoille, josta kuivatettu ilma lämmitetään ja puhalletaan takaisin huonetilaan. Tiivistynyt vesi johdetaan joko kuivaimessa sille tarkoitettuun säiliöön tai suoraan putkia pitkin pois tilasta. Kondenssikuivain toimii parhaiten lämpimässä (20–30 °C) ja kosteassa tilassa. Suhteellisen kosteuden laskettua kuivain ei toimi enää yhtä tehokkaasti, mutta poistaa edelleen kosteutta.

Adsorptiokuivain

Adsorptio kuivaimessa ilma johdetaan myös kuivaimen läpi. Kuivaimen sisällä on kemikaaleja, jotka sitovat ilman kosteuden itseensä. Kuivatettu ilma johdetaan takaisin huonetilaan. Kuivaimen sisällä käytetään silicageeliä, johon kosteus sitoutuu. Kuvassa 3 on esitetty erään laitevalmistajan laitteen toimintaperiaate. Adsorptiokuivaimen käyttölämpötila voi olla alhaisempi kuin kondenssikuivaimella, noin +5 °C:sta ylöspäin.



KUVA 3. Adsorptiokuivaimen toimintakaavio

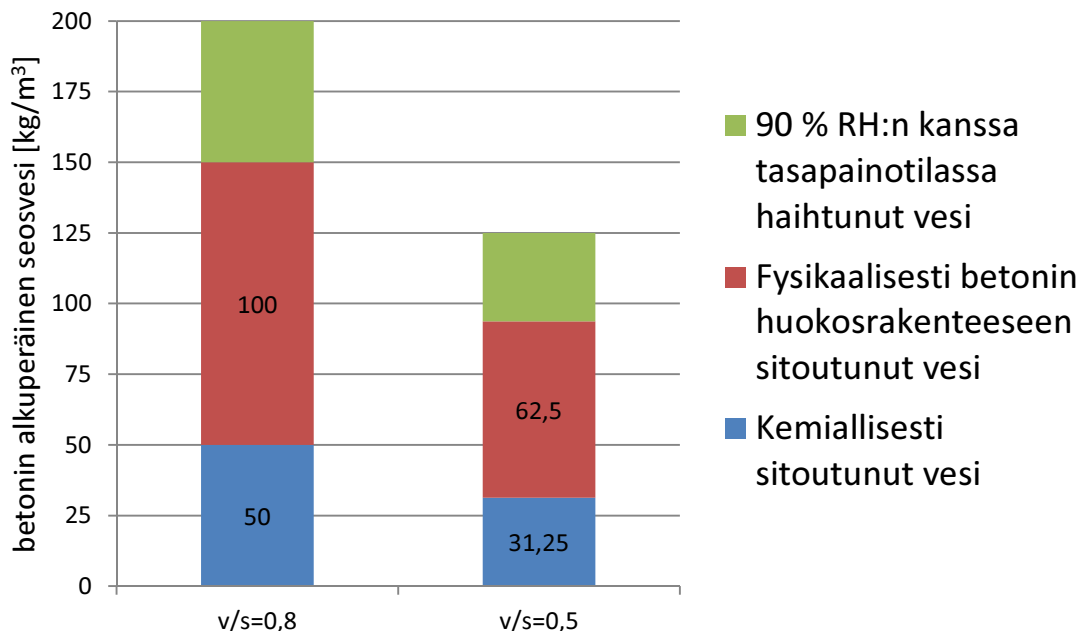
3.4 Pinnan lämmittäminen

Rakennuksen joissain kohdissa saattaa pintalämpötila olla matala, jolloin rakenne ei luovuta kosteutta nopeasti. Tällaisia paikkoja voi olla esimerkiksi ovi- ja ikkunaliitoksen, ulkoseinien liitokset ja ala-, väli- ja yläpohjan liitos seinän kanssa sekä nurkat. Pinnan lämpötilan kohottamiseksi voidaan käyttää infrapunasäteilijöitä. Infrapunasäteilijä lämmittää pintaa, johon se ensimmäisenä osuu. Säteilijä ei siis lämmitä suoranaisesti ilmaa, mutta ilma lämpenee lämpiävän pinnan säteilystä johtuen. Säteilijä voidaan laittaa lämmittämään kylmää betonikohtaa ja säteilyn avulla pintalämpötila voi nousta 40–50 °C:een. Betonin lämpö pintaa syvemmillä on keskimäärin 5 °C pienempi kuin pinnassa.

Lämpötilan nostaminen kaikkialla normaalilla lämmitysjärjestelmällä on kallista ja työlämpötila nousisi liian korkeaksi. Tästä syystä infrapunasäteilijä tulee kannattavaksi. Lisäksi lämmön nosto saadaan kohdistettua oikeaan paikkaan ja kustannuksissa säästetään huomattavasti.

4 BETONIN KOSTEUS

Alkuperäinen betonin kosteus on peräisin betonin valmistukseen käytettävästä vedestä. Alkuperäisestä vesi määrästä vain 20 painoprosenttia sementin massasta sitoutuu (täydellisessä hydrataatiossa 25 painoprosenttia). Hydrataatio on veden ja sementin välinen reaktio, jonka tuloksena ovat runkoainekset toisiinsa kiinnittävä sementtiliima. Esimerkiksi, jos betonin vesi-sementtisuhde on 0,8 ja sementtiä käytetään 300 kg/m^3 sekä vettä 240 kg/m^3 , niin kemiallisesti sitoutuvaa vettä on vain 75 kg/m^3 . Loppu vesi määrä 165 kg/m^3 voi haihtua betonista pois. Kuvassa 4 on esitetty, kuinka paljon vettä sitoutuu kemiallisesti ja kuinka paljon vettä voi haihtua pois eri vesi-sementtisuhteilla.



KUVA 4. Betonin valmistamiseen käytetyn veden (200 kg/m^3) jakautuminen, kun betoni on kuivunut 90 %:n suhteelliseen kosteuteen. Sementtiä on käytetty 250 kg (Merikallio – Niemi – Komonen 2007, 13)

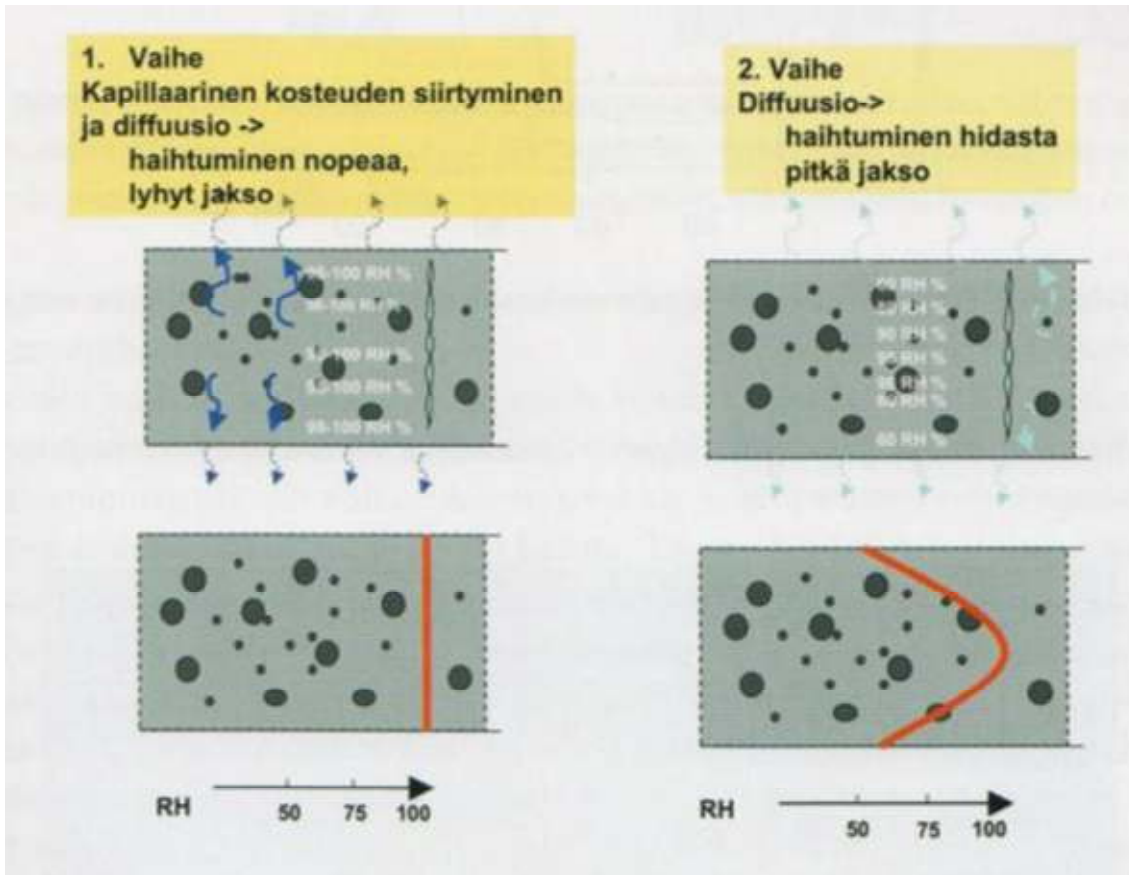
Haihtumiskykyinen vesi on suurimmaksi osaksi nesteolomuodossa sitoutunut huokosten pintaan ja loppu on vesihöyrynä huokosten sisällä. Vesihöyrynä olevan kosteuden määrä riippuu ilman suhteellisesta kosteudesta, sillä se pyrkii asettumaan vallitsevan suhteellisen kosteuden kanssa tasapainotilaan.

Alkuperäisen betonin kosteuden lisäksi betonin kosteutta voi lisätä ulkopuolelta betoniin tullut vesi, joka imeytyy betoniin. Myös tasoitteet luovuttavat kosteutta betoniin. Eniten betonia kasteleva tekijä on sade. Runko vaiheessa rakenteita ei suojata erityisesti, jolloin sade pääsee kastelemaan niitä. Joissain tapauksissa betoni saattaa olla jo kuivatusvaiheessa, kun sade kastelee betonin uudelleen, ja kuivatus pitkittyy huomattavasti. Kuivatusvaiheessa olevat betonirakenteet tulisi suojata, jos on vaara, että ne kastuvat uudelleen.

4.1 Betonin kosteudentuotto huonetilaan

Kosteuden tuottoa kuivavista rakenteista on hankala arvioida. Rakennusaikana tuoreesta betonista haihtuu jopa muutama kilogramma neliön alalta tunnissa [$\text{kg/m}^2\text{h}$]. Betonin kovettuessa kosteuden luovutus tasaantuu ja laskee merkittävästi ollen 3-9 $\text{g/m}^2\text{h}$ siten, että betoni luovuttaa 9 $\text{g/m}^2\text{h}$ nestettä aluksi mutta vähitellen luovutusnopeus laskee 3 $\text{g/m}^2\text{h}$:ssa. (Björkholz 1990, 53; BY 45/BLY 7 2002, 116.)

Kosteuden tuoton määrän vaihtelu tuoreen ja kuivan betonin välillä selittyy kuvan 5 avulla. Kuivuminen jakautuu kahteen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa kosteus siirtyy sekä kapillaarisesti että diffuusiolla. Kuivuminen on ensimmäisessä vaiheessa nopeaa ja kosteuden luovutus suurta. Toisessa vaiheessa kosteus siirtyy ainoastaan diffuusion avulla, jolloin kosteuden luovutus on hitaampaa (Merikallio – Niemi – Komonen 2007, 21).



KUVA 5. Betonirakenteen kuivumisen vaiheet (Merikallio – Niemi – Komonen 2007, 21)

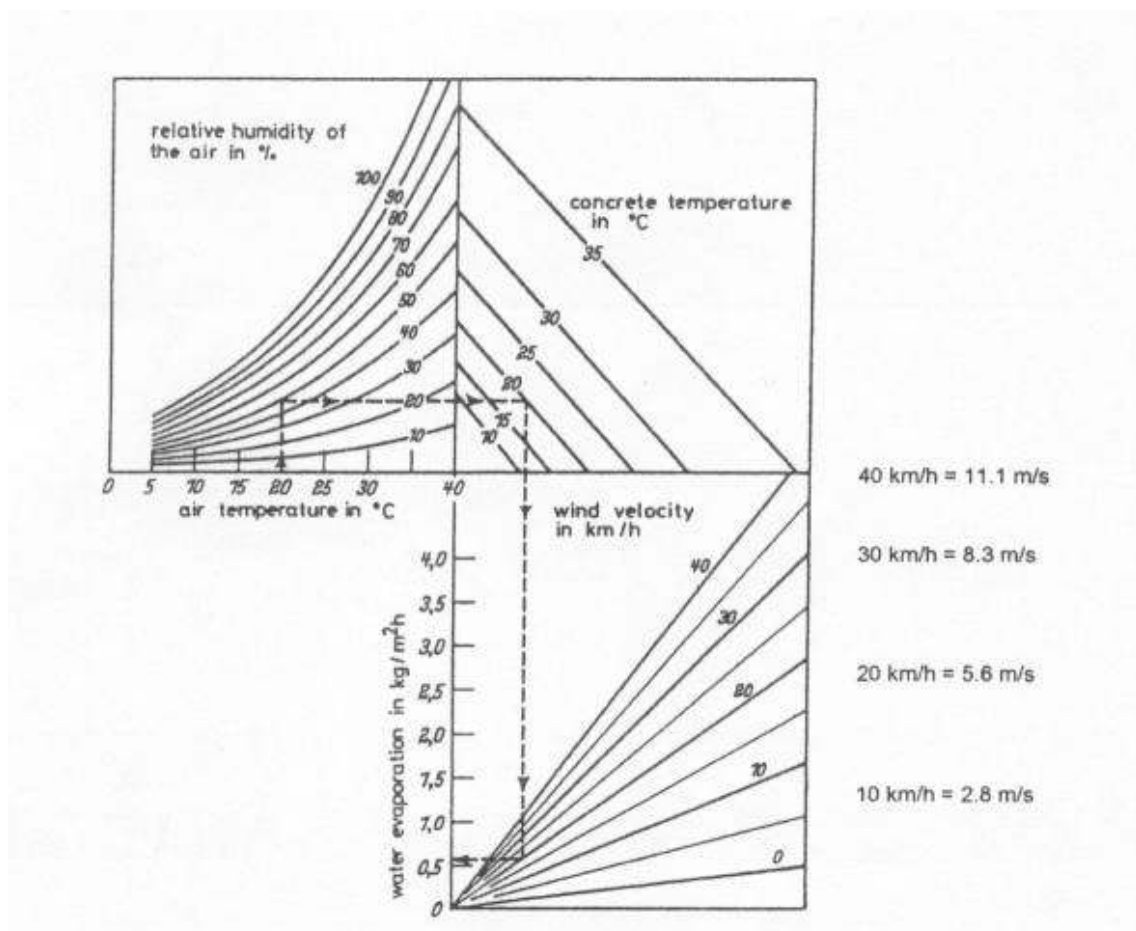
4.2 Betonin kuivuminen

Betoni voidaan kuivattaa hyvinkin nopeasti, mutta siitä seuraa pinnan halkeilua, betonin liiallista kutistumaa, betonipinta ei saavuta haluttua lujuutta ja pak-
kasenkestävyys on heikko. Pinnan halkeilussa voi tulla paljon pieniä hiushal-
keamia tai vähän suuria halkeamia.

Liian kuiva ilma saattaa kuivattaa betonia liian nopeasti, siksi betonin suhteelli-
nen kosteus on hyvä pitää lähellä 50 prosenttia. Rakenteen paksuus vaikuttaa
kuivumisnopeuteen. Paksussa rakenteessa kosteus joutuu siirtymään pitkän
matkan ennen kuin voi haihtua. Rakenteen paksuuden kaksinkertaistuminen
kasvattaa kuivumisaian 2–4-kertaiseksi. Myös kuivumissuunnat vaikuttavat kui-
vumisnopeuteen. Yhteen suuntaan kuivuvan rakenteen kuivumisaika voi olla 2–
4-kertainen verrattuna kahteen suuntaan kuivuvaan rakenteeseen. Betonin laa-
tu vaikuttaa myös kuivumisnopeuteen. Alkuperäisen vesimäärän ollessa suuri

on kuivumisaika pitempi, kuten kuvassa 4 esitettiin. Valitsemalla oikeanlaisen betonin koostumuksen voidaan kuivatusnopeus saada 2–10 kertaa lyhyemmäksi. Betonin lämmittäminen lyhentää kuivatusaikaa 2–4-kertaisesti. Lämmitettäessä pitää myös muistaa tuulettaa lämmitettävä kohta. (BY 45/BLY7 2002, 139; Merikallio – Niemi – Komonen 2007, 20.)

Hyvällä jälkihoidolla voidaan ehkäistä halkeilua mutta ei kutistumaa. Jos tuore betoni luovuttaa enemmän kuin $1 \text{ kg/m}^2\text{h}$ kosteutta, edellytetään erityisiä jälkihoitoimenpiteitä. Kuvasta 6 voidaan arvioida tuoreen betonin kosteuden haihtumista.



KUVA 6. Ympäristön olosuhteiden vaikutus betonin kosteuden haihtumiseen (Sisäilmayhdistys 2008)

Jälkihoidon pituus on yleensä kolme vuorokautta. Betonilla, joka myöhemmässä käytössä altistuu pakkas-, kulutus- tai kemialliselle rasitukselle, tulee olla vähin-

tään seitsemän vuorokauden jälkihoitoaika. Jälkihoidon jälkeen voidaan aloittaa betonin kuivattaminen. (Betoni 2013.)

5 KOKEELLISIA BETONIN KUIVUMISAIKOJA

Yleisimmille betonilaaduille ja laattarakenteille on tehty tutkimuksia, joiden tuloksina betonin kuivumisaikaa voidaan arvioida. Kuivumisaikojen laskiessa on kuitenkin huomattava, että laskennat ovat suuntaa-antavia ja auttavat työmaata ajan käytön suunnittelussa. Rakenteista on kuitenkin mitattava suhteellinen kosteus ennen päällystystöitä, jotta varmistutaan siitä, mikä rakenteiden suhteellinen kosteus todellisuudessa on. (Merikallio 2002, 32.)

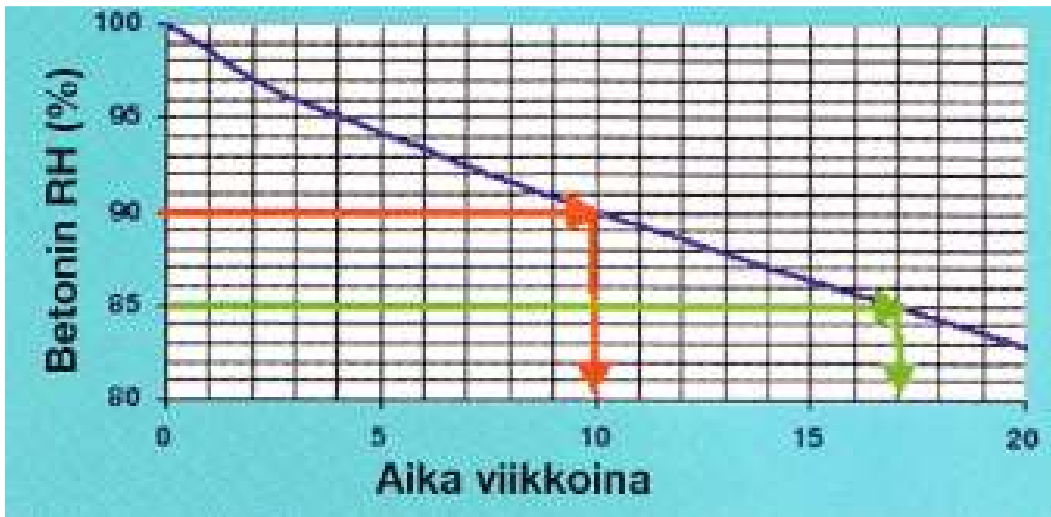
Luvuissa 5.1–5.6 on kyseessä olevien rakenteiden laskentakaavat, peruskuivumiskäyrät ja kertoimet kuivumisaikojen määrittämistä varten. Perusajatus on kaikissa tilanteissa sama, mutta kertoimet vaihtelevat hieman tilanteesta riippuen.

5.1 Maanvastainen teräsbetonilaatta

Maanvarainen laatta kuivuu pääasiassa sisäänpäin. Laskentakaava on esitetty kuvassa 7. Kuvan 7 tekijät saadaan kuvista 8 ja 9. Kuvassa 8 on kyseessä olevan laatan peruskuivumiskäyrä, josta laskenta aloitetaan. Kuvasta 9 saadaan kuivumiskaavan kertoimet, joilla peruskuivumisaika kerrotaan ja siitä saadaan arvioitu kuivumisaika. Tavoiteltu suhteellinen kosteus sijaitsee $0,4 \times$ rakenteen paksuus (d) syvyydellä rakenteen pinnasta.



KUVA 7. Maanvaraisen teräsbetonilaatan kuivumisen laskentakaava



KUVA 8. Maanvastaisen laatan peruskuivumiskäyrä

Vesisideainesuhde (v/s)	Kerroin
0,7	1,0
0,6	0,7
0,5	0,5
0,4	0,2

Rakenteen paksuus (mm)	Vesisideainesuhde (v/s)			
	0,7	0,6	0,5	0,4
70	1,0	0,8	0,8	0,7
90	1,4	1,3	1,3	1,2
100	1,7	1,6	1,6	1,5
120	2,1	2,0	2,0	1,9
150	2,5	2,4	2,4	2,3

Alusta	Kerroin
kuiva	1,0
muovi	1,1
märkä	1,5

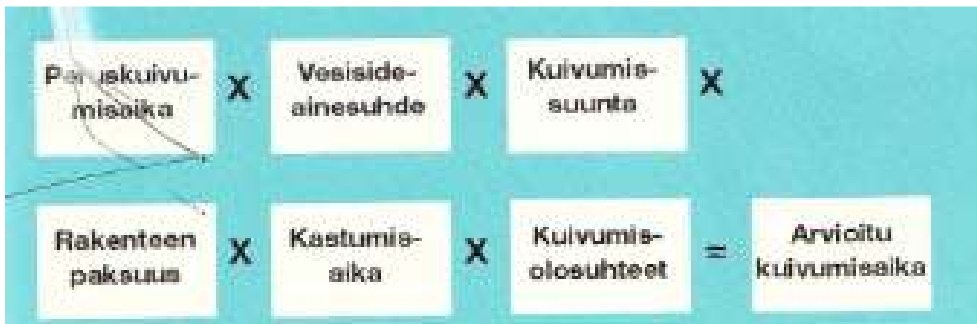
Kastuminen	Vesisideainesuhde			
	0,4	0,5	0,6	0,7
Kuivassa	1,0	0,9	0,9	0,8
kosteassa yli 2 viikkoa	1,0	1,0	1,0	1,0
kastunut yli 2 viikkoa	1,1	1,2	1,3	1,5

Olosuhteet				
RH (%)	Lämpötila (°C)			
	10	18	25	30
35	1,2	0,8	0,7	0,6
50	1,2	0,9	0,7	0,6
60	1,3	1,0	0,8	0,7
70	1,4	1,1	0,8	0,7
80	1,7	1,2	1,0	0,9

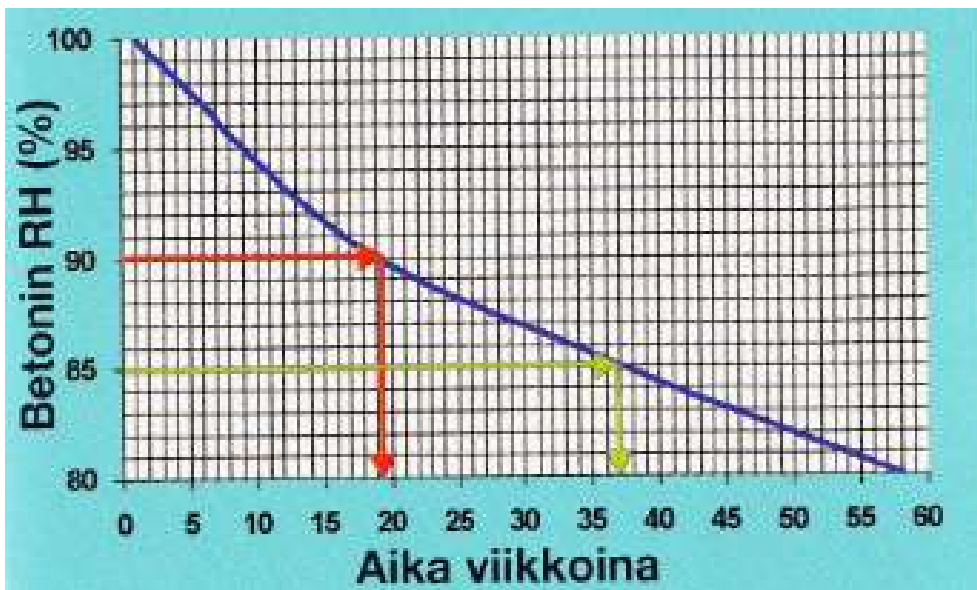
KUVA 9. Maanvastaisen laatan kertoimet

5.2 Massiivinen teräsbetonilaatta – välipohja/väliseinä

Suhteellisen kosteuden tavoite on kahteen suuntaan kuivuvan laatan pinnoilta $0,2 \times$ rakenteen paksuus (d) ja yhteen suuntaan kuivuvan $0,4 \times$ rakenteen paksuus (d). Kuvassa 10 on laskentakaava tälle rakenteelle, kuvassa 11 on peruskuivumiskäyrä ja kuvassa 12 kertoimet laskentakaavaa varten.



KUVA 10. Massiivisen teräsbetonilaatan kuivumisen laskentakaava



KUVA 11. Paikalla valetun massiivisen teräsbetonirakenteen peruskuivumiskäyrä

Vesisideainesuhde (v/s)	Kerroin
0,7	1,0
0,6	0,7
0,5	0,5
0,4	0,2

Rakenteen paksuus (mm)	Vesisideainesuhde (v/s)			
	0,7	0,6	0,5	0,4
200	0,7	0,7	0,7	0,8
230	0,9	0,9	0,9	0,9
250	1,0	1,0	1,0	1,0
280	1,3	1,1	1,1	1,1
300	1,6	1,4	1,3	1,2

Kuivumis-suunta	Vesisideainesuhde (v/s)			
	0,7	0,6	0,5	0,4
Kahteen suuntaan	1,0	1,0	1,0	1,0
Yhteen suuntaan	3,2	2,6	2,3	2,0

Olosuhteet				
RH (%)	Lämpötila (°C)			
	10	18	25	30
35	1,2	0,8	0,7	0,6
50	1,2	0,9	0,7	0,6
60	1,3	1,0	0,8	0,7
70	1,4	1,1	0,8	0,7
80	1,7	1,2	1,0	0,9

Kastuminen	Vesisideainesuhde			
	0,4	0,5	0,6	0,7
Kuivassa	1,0	0,9	0,9	0,8
kosteassa yli 2 viikkoa	1,0	1,0	1,0	1,0
kastunut yli 2 viikkoa	1,1	1,2	1,3	1,5

KUVA 11. Paikalla valetun massiivisen teräsbetonirakenteen kertoimet

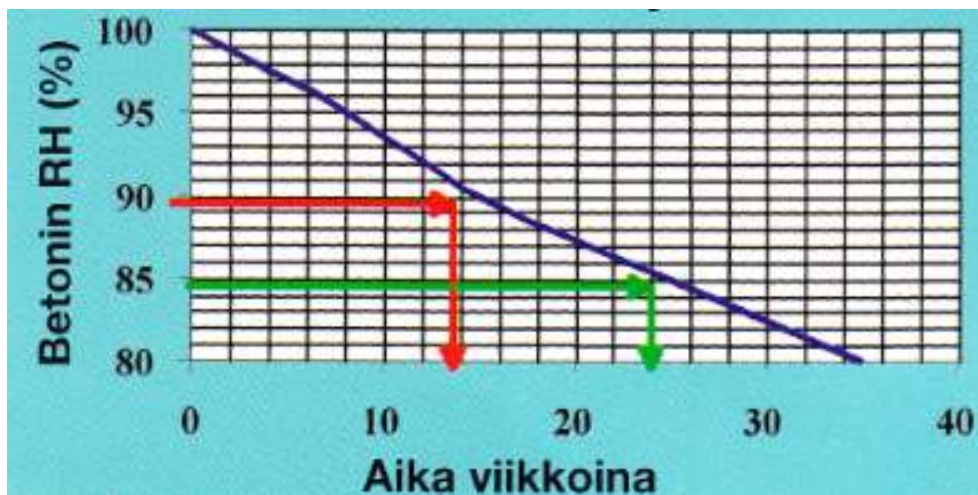
5.3 Kuorilaattarakenteet

Suhteellisen kosteuden tavoite on kahteen suuntaan kuivuvan laatan yläpinnasta $0,2 \times$ rakenteen paksuus (d). Kuorilaatta kuivuu kahteen suuntaan, mutta koska kuorilaatta on jo tiivistynyt ennen päälle tulevaa valua, on alaspäin kuivuminen huomattavasti hitaampaa kuin ylöspäin kuivuminen tuoreella betonilla.

Kuvassa 13 on laskentakaava tälle rakenteelle, kuvassa 14 on peruskuivumiskäyrä ja kuvassa 15 kertoimet laskentakaavaa varten.



KUVA 13. Kuorilaattarakenteen kuivumisen laskentakaava



KUVA 14. Kuorilaattarakenteen peruskuivumiskäyrä

Vesisideainesuhde (v/s)	Kerroin
0,7	1,0
0,6	0,7
0,5	0,5
0,4	0,2

Rakenteen paksuus (mm)	Vesisideainesuhde (v/s)			
	0,7	0,6	0,5	0,4
140	1,0	1,0	1,0	1,0
160	1,2	1,2	1,2	1,2
190	1,3	1,2	1,2	1,1

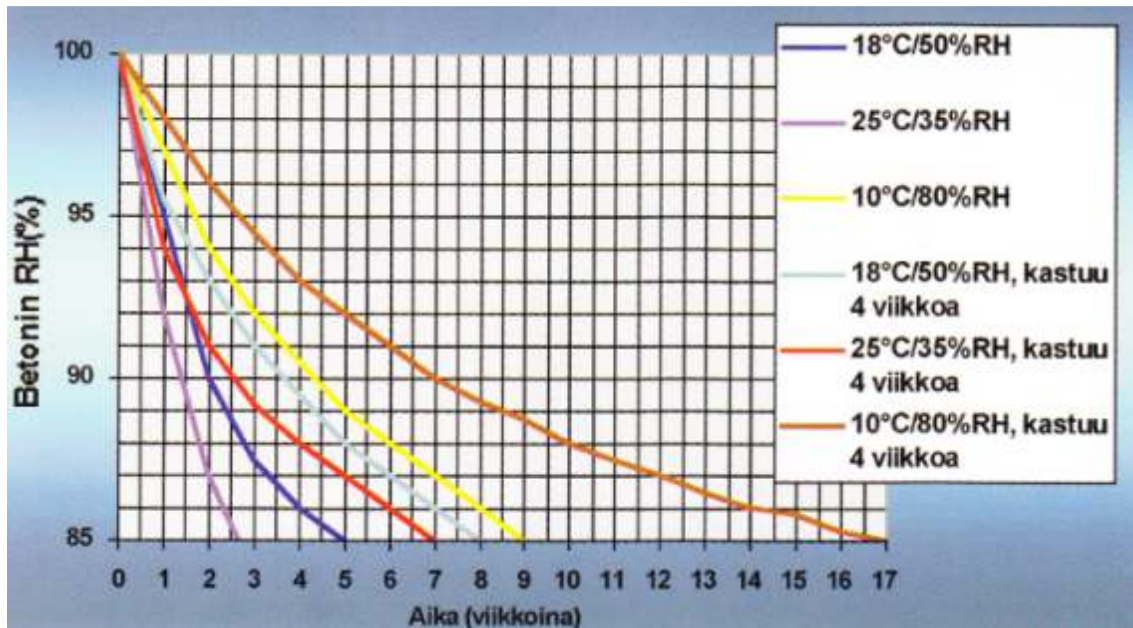
Olosuhteet				
RH (%)	Lämpötila (°C)			
	10	18	25	30
35	1,2	0,8	0,7	0,6
50	1,2	0,9	0,7	0,6
60	1,3	1,0	0,8	0,7
70	1,4	1,1	0,8	0,7
80	1,7	1,2	1,0	0,9

Kastuminen	Vesisideainesuhde			
	0,4	0,5	0,6	0,7
Kuivassa	1,0	0,9	0,9	0,8
kosteassa yli 2 viikkoa	1,0	1,0	1,0	1,0
kastunut yli 2 viikkoa	1,1	1,2	1,3	1,5

KUVA 15. Kuorilaattarakenteen kertoimet

5.4 Ontelolaatta

Ontelolaatta kuivuu lähes aina kahteen suuntaan. Valmistusvaiheessa vesisementtisuhde on pieni, joten laatan kuivuminen ei kestä kauaa. Laatta on kuitenkin suojattava ulkopuoliselta kosteudelta, sillä kastuessaan koko rakenteen kuivumisaika kasvaa. Kuvassa 16 on ontelolaatan kuivumiskäyrä erilaisissa olosuhteissa.



KUVA 16. Ontelolaatan kuivumiskäyrä eri olosuhteissa

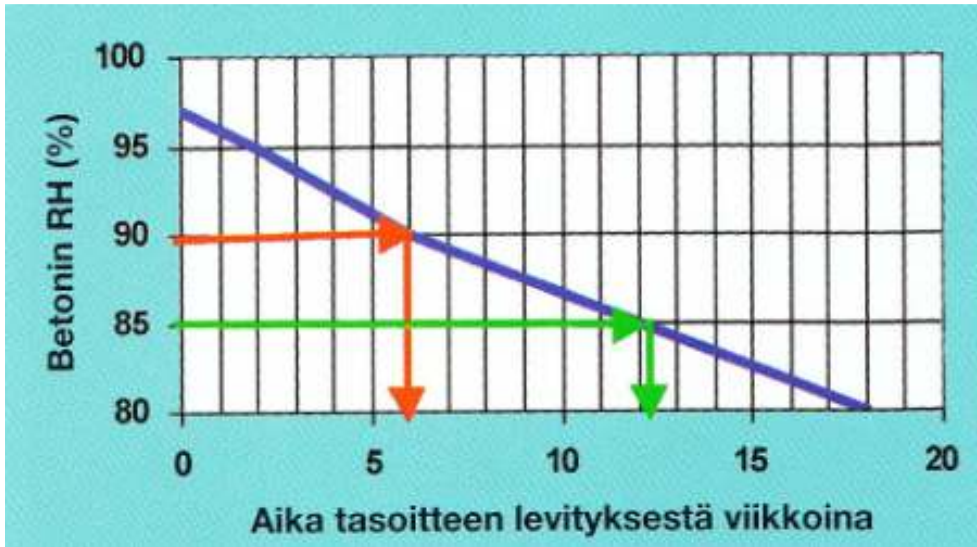
Kuvasta 16 huomataan, miten paljon merkitystä on laatan suojaamisella. Kastuva laatta kuivuu noin kaksi kertaa kauemmin kuin kuivassa ollut laatta, vaikka ovatkin samoissa olosuhteissa.

5.4.1 Ontelolaatta + lattiatasoite

Ontelolaatan päälle tuleva tasoite jatkaa kuivumisaikaa paksuudesta riippuen. Suhteellisen kosteuden arviointisyvyys on $0,2 \times$ koko rakenteen paksuus. Kuvassa 17 on laskentakaava tasoitepäällysteisen ontelolaatan kuivumisajalle. Kuvassa 18 on peruskuivumiskäyrä tälle tilanteelle ja kuvassa 19 tilanteen kertoimet.



KUVA 17. Ontelolaatta + lattiatasoite kuivumisajan laskentakaava



KUVA 18. Ontelolaatta + lattiatasoite peruskuivumiskäyrä

Ontelolaatan kosteus (RH%) ennen pintavalua	Kerroin
Alle 90 %	0,6
90-95 %	1,0
yli 95 %	1,3

Tasoitteen paksuus (mm)	Kerroin
20	1,6
10	1,0
5	0,8

Olosuhteet				
RH (%)	Lämpötila (°C)			
	10	18	25	30
35	1,2	0,8	0,7	0,6
50	1,2	0,9	0,7	0,6
60	1,3	1,0	0,8	0,7
70	1,4	1,1	0,8	0,7
80	1,7	1,2	1,0	0,9

KUVA 19. Ontelolaatta + lattiatasoite kertoimet

5.4.2 Ontelolaatta + pintabetonivalu

Pintabetonivalu kasvattaa kuivumisaikaa entisestään. Kuten muissakin betoneissa, pintabetonin koostumus vaikuttaa kuivumisaikaan. Suhteellisen kosteuden arviointi syvyydet ovat 20 mm pintabetonivalun alapuolelta ja $0,5 \times$ pintabetonivalun paksuus. Kuvassa 20 on kuivumistilanteen laskentakaava sekä ku-

vassa 21 peruskuivumiskäyrä ja kuvassa 22 ontelolaatta + pintabetonivalun laskentaan kertoimet.



KUVA 20. Ontelolaatta + pintabetonivalu kuivumisajanlaskentakaava



KUVA 21. Ontelolaatta + pintabetonivalu peruskuivumiskäyrä

Ontelolaatan kosteus (RH%) ennen pintavalua	Kerroin	Pintabetoni-valun paksuus (mm)	Kerroin
Alle 90 %	0,5	30	0,7
90-95 %	1	50	1,0
yli 95 %	1,5	80	1,3

Vesisideainesuhde (v/s)	Kerroin
0,7	1,0
0,6	0,8
0,5	0,6

Kastuminen	Pintabetonin vesisideainesuhde		
	0,5	0,6	0,7
Kuivassa	0,9	0,9	0,8
kosteassa yli 2 viikkoa	1,0	1,0	1,0
kastunut yli 2 viikkoa	1,2	1,3	1,5

Olosuhteet				
RH (%)	Lämpötila (°C)			
	10	18	25	30
35	1,2	0,8	0,7	0,6
50	1,2	0,9	0,7	0,6
60	1,3	1,0	0,8	0,7
70	1,4	1,1	0,8	0,7
80	1,7	1,2	1,0	0,9

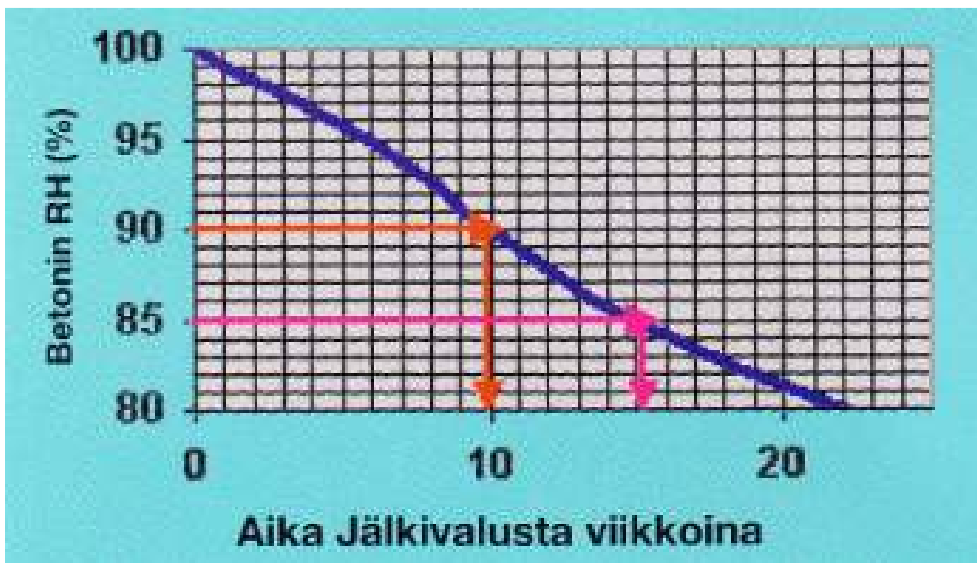
KUVA 22. Ontelolaatta + pintabetonivalu kertoimet

5.5 Kololaatta + jälkivalu

Kololaatta on normaali laatta, johon on jätetty jollekin osaa ohuempi kohta eli niin sanottu kolo. Tämä tilanne on yleensä märkätiloissa, joissa täytyy saada lattian sisään viemärit ja pintaan kallistus. Kun valmistelut ovat valmiit, kolo valutaan betonilla. Suhteellisen kosteuden arviointisyvyys on $0,4 \times$ jälkivalun paksuus. Kuvassa 23 on kololaatta + jälkivalun kuivumisen laskentakaava. Kuvassa 24 on tilanteen peruskuivumiskäyrä ja kuvassa 25 on kertoimet laskentaa varten.



KUVA 23. Kololaatta + jälkivalun kuivumisen laskentakaava



KUVA 24. Ontelolaattaa (kololaatta) + jälkivalu peruskuivumiskäyrä

Ontelolaatan kosteus (RH%) ennen pintavalua	Kerroin	Vesisideainesuhde (v/s)	Kerroin
Alle 90 %	0,9	0,7	1,0
90-95 %	1,0	0,6	0,7
yli 95 %	1,5	0,5	0,5

Jälkivalun paksuus (mm)	Vesisideainesuhde (v/s)		
	0,7	0,6	0,5
100	0,8	0,7	0,7
120	1,0	0,9	0,9
150	1,3	1,2	1,2

Kastuminen	Pintabetonin vesisideainesuhde		
	0,5	0,6	0,7
Kuivassa	0,9	0,9	0,8
kosteassa yli 2 viikkoa	1,0	1,0	1,0
kastunut yli 2 viikkoa	1,2	1,3	1,5

Olosuhteet				
RH (%)	Lämpötila (°C)			
	10	18	25	30
35	1,2	0,8	0,7	0,6
50	1,2	0,9	0,7	0,6
60	1,3	1,0	0,8	0,7
70	1,4	1,1	0,8	0,7
80	1,7	1,2	1,0	0,9

KUVA 25. Kololaatta + jälkivalu kertoimet

5.6 Kerrokselliset betonilaatat

Kerroksellinen betonilaatta koostuu runkolaatasta, vaimentavasta kerroksesta ja kelluvasta betonilaatasta. Runkolaatan tulisi kuivua alle 90 prosenttiseen suhteelliseen kosteuteen ennen kuin vaimentavaa kerrosta sekä kelluvaa betonilaattaa lisätään. Kuvassa 26 on laskentakaava kerroksellisen betonilaatan kuivumiselle. Kuvassa 27 on peruskuivumiskäyrä ja kuvassa 28 kertoimet kyseiselle tilanteelle.



KUVA 26. Kerroksellisen betonilaatan kuivumisen laskenta kaava



KUVA 27. Kerroksellisen betonilaatan peruskuivumiskäyrä

Runkolaatan kosteus (RH%) ennen pintavalua	Kerroin	Vesisideainesuhde (v/s)	Kerroin
Alle 90 %	1,0	0,7	1,0
90-95 %	1,1	0,6	0,7
yli 95 %	1,5	0,5	0,5

Kelluvan laatan paksuus (mm)	Vesisideainesuhde (v/s)		
	0,7	0,6	0,5
50	0,8	0,7	0,7
70	1,0	0,8	0,8
90	1,2	1,1	1,1
100	1,5	1,3	1,3

Olosuhteet				
RH (%)	Lämpötila (°C)			
	10	18	25	30
35	1,2	0,8	0,7	0,6
50	1,2	0,9	0,7	0,6
60	1,3	1,0	0,8	0,7
70	1,4	1,1	0,8	0,7
80	1,7	1,2	1,0	0,9

Kastuminen	Pintabetonin vesisideainesuhde		
	0,5	0,6	0,7
Kuivassa	0,9	0,9	0,8
kosteassa yli 2 viikkoa	1,0	1,0	1,0

KUVA 28. Kerroksellisen betonilaatan kertoimet

6 KUIVATUSJÄRJESTELMÄN VALINTA

Ulkoilman olosuhteet vaikuttavat merkittävästi sisäilmaan, joten ulkoilman olosuhteet ovat ensimmäinen valintaan vaikuttava tekijä. Taulukossa 2 on esitetty muutamien paikkakuntien keskimääräisiä ulkoilma olosuhteita, mutta valinta on tehtävä valintahetkellä vallitsevien sääolosuhteiden perusteella. Keskimääräisistä olosuhteista voi kuitenkin päätellä, mihin suuntaan sääolot ovat muuttumassa.

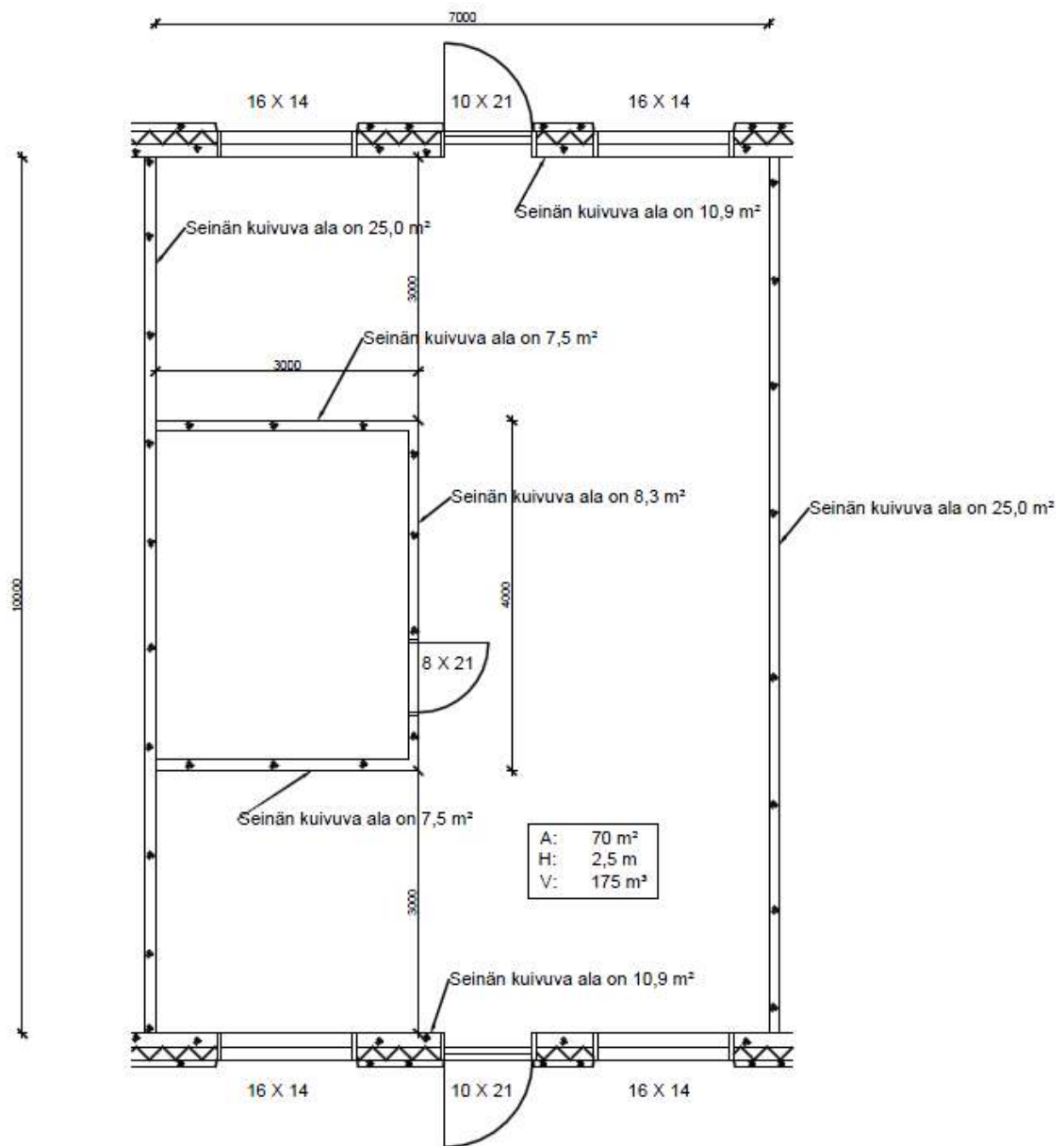
Sisätilan lämmittäminen yhdistettynä hyvään ilmanvaihtoon valitaan silloin, kun ulkoilman kosteussisältö on pieni. Tällainen tilanne on yleensä talvella ja keväällä. Sisäilman suhteellinen kosteus on pieni ja ilma pystyy sitomaan paljon kosteutta itseensä. Ilmanvaihto vie kosteuden ulos ja tuo kuivaa ilmaa sisään. Kun ulkoilman kosteussisältö on suuri, ei ulkoa saada kuivaa ilmaa sisään. Ilma on kuivatettava koneellisesti ja kosteus johdettava ulos. Ilma voidaan kuivata tällöin joko kondenssikuivaimella tai adsorptiokuivaimella.

6.1 Esimerkin kuivatus

Lasketaan luvun 6 alun väitteet yksinkertaisin esimerkein ja näytetään niiden toden mukaisuus. Näiden esimerkkien laskentatapaa käytetään luvun 7 kohteiden teoreettisten kuivatuskustannusten laskemiseen.

Lähtötilanne

Kerrostalo huoneisto on pinta-alaltaan 70 m²:ä ja huonekorkeus on 2,5 m:ä. Kuvassa 29 on huoneiston rungon yksinkertainen pohjapiirustus. Sisäilmassa on +18 °C lämmintä ja suhteellinen kosteus on 50 prosenttia. Huoneiston ala- ja yläpohja ovat molemmat 270 mm:n ontelolaattoja, joiden päällä on 10 mm:n tasoite. Huoneiston väliseinät ovat 120 mm:n kantavia betoniseiniä. Ulkoseinät ovat 380 mm:n sandwich-elementtejä.



KUVA 29. Esimerkki huoneiston rungon pohjapiirustus

6.2 Kuivumisajat

Luvun 5 laskentatapojen perusteella lasketaan esimerkkirakenteiden kuivumisajat.

Ala- ja yläpohja:

Peruskuivumisaika x ontelolaatan kosteus x tasoitteen paksuus x kuivumisolosuhteet = kuivumisaika.

$$12 \text{ vko} \times 1,0 \times 1,0 \times 0,9 = 10,8 \text{ vko} \Rightarrow 75,6 \text{ pvä.}$$

Väliseinä:

Laskentataulukossa ei ole 120 mm:n paksuista seinää, joten siinä kohtaa käytetään omaa arvioitua kerrointa.

Peruskuivumisaika x vesi/sementti suhde x kuivumissuunta x rakenteen paksuus x kastumisaika x kuivumisolosuhteet = kuivumisaika.

$$37 \text{ vko} \times 0,5 \times 1,0 \times 0,5 \times 1,0 \times 0,9 = 8,3 \text{ vko} \Rightarrow 58,1 \text{ pvä.}$$

Ulkoseinä:

Sovelletaan kerroksellisen betonilaatan laskentakaavaa tässä sandwich-elementin kuivumisen laskentaan.

Peruskuivumisaika x runkolaatan kosteus x pintalaatan korkeus x pintalaatan vesi/sementti suhde x jälkihoito x kuivumisolosuhteet = kuivumisaika.

$$8 \text{ vko} \times 1,1 \times 0,9 \times 0,5 \times 0,9 \times 0,9 \times 0,9 = 3,2 \text{ vko} \Rightarrow 22 \text{ pvä.}$$

Ala- ja yläpohjan kuivatuksesta tulee määräävä kuivatusaika, joka on 75 vuorokautta. Valitaan kuivatusajaksi kuitenkin 90 vuorokautta laskennan helpottamiseksi.

6.3 Laskennassa käytettävät kaavat

Kootaan tähän kaavat, joita on käytetty esimerkin ja myöhemmin kohteiden laskennassa. Kosteuden luovutus voidaan pelkästään arvioida ja se vaihtelee välillä 3–9 g/m²h siten, että aluksi enemmän ja lopuksi vähän. Kuivatusala on laskettava rakenteista. Siihen on otettu mukaan kaikki kuivavat betonipinnat, jotka vain pystyvät luovuttamaan kosteutta.

Kosteuden tuotto saadaan, kun kerrotaan kosteuden luovutus kuivatettavalla alalla. Vu on kosteussisältö ulkona ja Vs kosteussisältö sisällä. Ne voidaan laskea kaavalla 3.

$$V_k = 4,85 + 3,47(t/10) + 0,945(t/10)^2 + 0,158(t/10)^3 + 0,0281(t/10)^4 \quad \text{KAAVA 3}$$

, jossa t on lämpötila.

Kuinka paljon kosteutta mahtuu tilaan, saadaan, kun kosteussisältöjen erotus kerrotaan tilavuudella. Ilmanvaihdon tarve saadaan jakamalla kosteudentuotto kosteussisältöjen erotuksella. Kun ilmanvaihdon tarve jaetaan tilavuudella, niin saadaan selville, montako kertaa huoneen ilma vaihtuu tunnissa. Sisä- ja ulkolämpötila ovat mitattavia tekijöitä, ja niiden erotus saadaan vähentämällä sisälämpötilasta ulkolämpötila. Paine-ero saadaan laskettua kaavalla 4.

$$\Delta p = 0,043 \times \Delta t \times h \quad \text{KAAVA 4}$$

, jossa Δt on lämpötilaero ja h on lämpöisen vaipan korkeus.

Ilmavirran suuruus lasketaan kaavalla 5.

$$Q = 0,8 \times A \times \sqrt{\Delta p} \quad \text{KAAVA 5}$$

, jossa A on tuuletusaukon suuruus ja Δp on paine-ero.

Lämmitysteho lasketaan kaavalla 6.

$$q_i = 1,2 \times Q \times (t_s - t_u) \quad \text{KAAVA 6}$$

, jossa Q = ilmavirran suuruus ja $(t_s - t_u)$ on lämpötilaero.

Haihtumisteho saadaan, kun kosteuden tuotto kerrotaan höyrystymisenergian tarpeella. Johtumisteho on rakenteiden läpi menevän johtumistehojen summa. Rakenteen läpi menevä johtumisteho lasketaan kaavalla 7.

$$\Phi_{joht} = U \times A \times \Delta t \quad \text{KAAVA 7}$$

, jossa U on rakenteen U-arvo, A on rakenteen kohtisuora pinta-ala ja Δt lämpötilaero.

Energiat saadaan laskettua kertomalla kukin teho kuivatusajalla sekä 24 tunnila.

6.4 Esimerkin tulokset

Esimerkki laskut on tehty excel-pohjalla, jota voi käyttää myöhemmin laskupohjana. Laskelmat ovat liitteessä 1. Tähän todetaan laskelman tulokset. Ulkoilman säädata on Helsingin korkeudelta.

Talvi ja kevät

Talvi- ja kevätaikana ilman kosteussisältö on pieni, joten ulkoilma on valmiiksi kuivaa. Tätä hyödyntämällä voidaan käyttää lämmitystä ja tuuletusta eli avointa kuivatusjärjestelmää. Lämmitys järjestetään rakennuksen omaa lämmityslaitteistoa käyttäen, joten esimerkissä ei ole laitekustannuksia avoimella järjestelmällä. Suurin kustannus tulee korvausilman lämmittämisestä. Täytyy myös olettaa, että painovoimainen ilmanvaihto pysyy tasaisena koko ajan.

Rakennuskuivainta eli suljettua järjestelmää käyttämällä ilmanvaihto suljettiin, mutta koska työmaalla täysin tiivistä tilaa on hankala toteuttaa, niin vuotoilma on otettu huomioon, mutta lämmitettävän ilman osuus kokonaiskulutuksessa on paljon pienempi kuin avoimella järjestelmällä. Laskelmiin on lisätty ilmankuivaimen tarvitsema teho sekä kuivatusajan kalustovuokra.

Molemmissa tilanteissa energian kulutusta lisää rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia ja kosteuden haihtumiseen tarvittava energia. Laskelmista saatava kuivatuskustannus puoltaa alkuperäistä oletusta, että talviaikaan avoimen järjestelmän käyttäminen on kustannustehokkaampaa.

Kesä ja syksy

Avoin järjestelmä on laskelman perusteella kustannustehokkaampi. Jotta avoin järjestelmä saadaan teoriassa toimivaksi, on ilmanvaihto nostettava niin korkeaksi, ettei sen yllä pitäminen ole järkevää. Lisäksi sisätilan lämpötila on nostettava melko korkeaksi, että sisäilma pystyy vastaan ottamaan poistuvaa kosteutta. Laskelmat eivät osoita suoraan, miksi tätä tapaa ei tulisi käyttää tähän vuoden aikaan.

Suljetun järjestelmän suurin kustannuserä on kuivatuskaluston vuokra. Esimerkki laskussa se kattaa 83 prosenttia koko kustannuksesta. Lämpötilaa laskemalla kosteuden kulkusuunta muuttuu sisältä ulos, jolloin vuotokohdat jopa

auttavat kuivatusta. On myös huolehdittava, ettei kosteus jää rakenteisiin vaan poistuu kokonaan ulkoilmaan.

7 KOHTEET

7.1 Tuusanpuisto, Nummela

Kohde sijaitsee Vihdin Nummelassa. Taloyhtiö koostuu kahdesta nelikerroksisesta kerrostalosta, jotka molemmat kuuluvat samaan taloyhtiöön. Ensimmäisessä rakennuksessa on raput A ja B ja toisessa rappu C. Vuokrakäyttöön tulevia asuntoja kohteessa on yhteensä 63 kappaletta.

Rakennuksen runko on koottu lähes kokonaan sandwich-elementeistä ja ontelolaatoista, ja alapohja on tuulettuva. Ontelolaattojen päälle tulee lattiatasoite ja lattian pintamateriaaliksi matto. Julkisivuna on tiililaattapinta ja väribetoni sekä muutamissa kohdissa tehostemaalauksia. Kohde valmistuu kesällä 2013. Kohteessa on käytetty avointa kuivatusjärjestelmää.

Todellinen kuivatuskustannus

A- ja B-rappua on kuivatettu noin kaksi kuukautta ja C-rappua 3 kuukautta. Todellisissa kustannuksissa ei ole eritelty tarkasti energian tarvetta, kuten teoreettisissa laskelmissa. Huomioitu on kaukolämpökustannus ja vuokratiluston kustannus. Kahden kuukauden ajalta kaukolämpö on maksanut 6000 euroa ja vuokratilusto 931,80 euroa. Tästä voidaan laskea, että keskimäärin on kuivatukseseen kulunut hieman alle 2 euroa/m³. Tästä puuttuu vielä sähkön osuus, jolla laitteita on käytetty.

Teoreettinen kuivatuskustannus

Kuivatuksen laskelmat löytyvät liitteestä 2. Tuloksena voidaan todeta, että kuivatukseseen olisi varattava noin 2,3 (euroa/m³)/kuukausi.

7.2 Sepänahjo, Jyväskylä

Kohde sijaitsee noin kolme kilometriä Jyväskylän keskustasta koilliseen. Kohdetontille on kaavoitettu kolme asuinkerrostaloa, joista yksi rakennetaan tässä hankkeessa. Rakennettava asuinkerrostalo on kuusikerroksinen ja yksirappuinen pistekerrostalo. Asuntoja rakennuksessa on 28 kappaletta.

Rungon ala-, väli- ja yläpohja tehdään ontelolaatoista. Alapohja on tuulettuva. Seinärungot on sandwich-elementeistä koottu. Lattioihin tulee ohut tasoite. Käytäviin pintamateriaaliksi laitetaan muovimatto. Huoneistoihin tulee märkätiloja lukuun ottamatta kaikkialle laminaatti. Märkätilat ovat valmiita kylpyhuone-elementtejä, jossa on valmiiksi laatoitus. Pohjakerroksen julkisivun kuorielementit ovat hienopestyjä tai uritettuja. Ylempien kerrosten julkisivupintana on lämpörappaus. Sokkelia ei käsitellä. Kohde valmistuu syksyllä 2013. Kohteessa on käytetty avointa kuivatus järjestelmää.

Todellinen kuivatuskustannus

Rakennusta on kuivatettu noin kolme kuukautta. Kustannukset ovat olleet seuraavat: kaukolämpö 6000 euroa, kalustovuokra 500 euroa/kuukausi ja arvioitu sähkö noin 2000 euroa. Kulut yhteen laskettuna ja jaettuna tilavuudella sekä kuivatuskuukausilla saadaan kustannukseksi 0,8 (euroa/m³)/kuukausi. Tässä sähkön osuus on arvioitu osuus rakennusajan kokonaiskustannuksesta.

Teoreettinen kuivatuskustannus

Laskelmat löytyvät liitteestä 3. Laskelmista voidaan todeta, että kuivumiskustannuksia tulisi varata 3,2 (euroa/m³)/kuukausi.

7.3 Lentävänniemen Lokki, Tampere

Lentävänniemi on noin neljä kilometriä Tampereen keskustasta luoteeseen. Kohteessa on kaksi asuinkerrostaloa, joiden vaipat ovat samanmallisia. Rakennuksen alapohja on maanvarainen teräsbetoni-laatta. Väli- ja yläpohjat ovat ontelolaatoista tehtyjä. Runko on elementeillä tehty. Julkisivu on väribetonia tai maalaamatonta betonia. Vesikatto on tasakatto, josta sadevedet johdetaan rakenteita pitkin pois. Lattiapinnoiksi asuntoihin tulee kylpyhuonetta lukuun ottamatta parketti. Käytävillä on muovimatto. Kohde valmistuu keväällä 2013. Kohteessa on käytetty suljettua kuivatusjärjestelmää.

Todellinen kuivatuskustannus

Kokonaiskustannuksessa ei ole huomioitu ylimääräistä työtä, joka kuivatusta varten on pitänyt tehdä. Kuivatettavana oli kaksi rakennusta. Kuivatuksen kokonaishinta oli 20 766,85 euroa sisältäen kosteusmittauksen. Kuivatuskaluston energian kulutuksesta tulee 28 512 euroa. Kuivatusaika oli 1,5 kuukautta. Kun

nämä jaetaan tilavuudella ja kuivatuskuukausilla, kustannukseksi tulee 2,2 (euroa/m³)/kuukausi.

Teoreettinen kuivatuskustannus

Laskelmat löytyvät liitteestä 4. Laskelmista voidaan todeta, että kuivumiskustannus kohteessa tulisi olla keskimäärin 5,0 (euroa/m³)/kuukausi.

7.4 Harjun Seppä, Nokia

Kohde sijaitsee Nokian keskustassa. Kohteena on yksi asuinkerrostalo, jonka alakertaan tulee yksi liikehuoneisto. Alapohjana on maanvarainen teräsbetonilaatta. Kantavat seinärakenteet ovat betonielementtejä. Väli- ja yläpohja on tehty ontelolaatoista. Julkisivut ovat valkobetonia ja osittain maalipintaista betonia. Vesikatto on pulpettikatto, jonka pintana on kaksinkertainen bitumikermi. Huoneistojen lattiamateriaalina on parketti kylpyhuoneita lukuun ottamatta. Käytävälle asennetaan muovimatto. Kohde valmistuu keväällä 2013. Kohteessa on käytetty suljettua kuivatusjärjestelmää.

Todellinen kuivatuskustannus

Kokonaiskustannuksessa on huomioitu kuivatuskaluston vuokra, kosteusmittaukset, kuivatusta varten tehty työ ja vuokrakaluston energian kulutus. Kokonaiskustannus oli 23 261,74 euroa. Kuivatusaika oli 1,5 kuukautta. Varattavaksi kustannukseksi tulee tällöin 2,8 (euroa/m³)/kuukausi.

Teoreettinen kuivatuskustannus

Laskelmat löytyvät liitteestä 5. Laskelmista voidaan todeta, että kuivumiskustannus kohteessa tulisi olla 2,8 (euroa/m³)/kuukausi.

7.5 Kohteiden yhteenveto

Taulukossa 4 on koottuna yhteen laskentojen tulokset. Merkille pantavaa on, että todellisissa kustannuksissa avoin kuivatusjärjestelmä on huomattavasti halvempi kuin suljettu järjestelmä.

Todellisen kuivatuskustannuksen tekijät eivät ole kaikilla samat, koska jostain kohteesta jotkut tekijät puuttuvat, joten ne eivät ole keskenään täysin vertailukelpoisia. Kuitenkin kuukausikohtaiset teoreettiset kustannukset kuutiota kohti

ovat yhtä poikkeusta lukuun ottamatta lähes samoja. Sitä voisi jatkossa hyödyntää tavoitelaskelman kuivatukseen varattavan rahan laskennassa.

TAULUKKO 4. Kustannukset yhteen koottuna

	Tuusanpuisto	Sepänahjo	Lentävänniemen Lokki	Harjun Seppä
Lämmitettävä tilavuus	11 255 m ³	3 982 m ³	7 550 m ³	5 594 m ³
Teoreettinen	5,3 €/m ³	9,5 €/m ³	7,6 €/m ³	4,2 €/m ³
Teoreettinen	2,3 (€/m ³)/kk	3,2 (€/m ³)/kk	5,1 (€/m ³)/kk	2,8 (€/m ³)/kk
Todellinen	2,0 €/m ³	2,1 €/m ³	6,5 €/m ³	6,3 €/m ³
Todellinen	0,6 (€/m ³)/kk	0,8 (€/m ³)/kk	2,2 (€/m ³)/kk	2,8(€/m ³)/kk

8 POHDINTA

Runkovaiheen ja ensimmäisten sisätöiden jälkeen ennen pintojen päällystystä on huonetilojen annettava kuivua. Kuivatus ehkäisee kosteusvaurioiden syntymistä rakenteiden sisässä. Työn tähtäimenä oli saada rakennusliikkeelle tavoitearvioon kuivatustyöhön varattava summa, joka vastaa todellista tarvetta. Tällöin työmailla olisi riittävästi resursseja, joita käyttää kuivattamiseen.

Laskentapohjan tekeminen oli hieman ongelmallista aluksi. Piti miettiä tarpeelliset tekijät, jotka vaikuttavat kuivatukseen. Myös kaavojen yhteen sovittaminen oli haastavaa. Lopullinen laskentapohja saatiin tulosten suhteen tyydyttäväksi. Valmis laskentapohja helpotti todella paljon kohteiden laskentaa.

Kohteista saadut tiedot olivat erilaisia ja osa tiedoista oli kattavampia kuin toiset. Tietojen kattavuus vaikutti suoraan siihen, kuinka todellinen kuivatuskustannus oli. Myös kohteiden laajuus ja kuivatusjärjestelmä vaikutti hintaan. Teoreettinen laskelma oli enemmän kuivatusprosessi kokonaisuudessaan, joten jotkut kulut tulisivat eteen joka tapauksessa, kuivattiinpa rakennuksia tai ei.

Työn aikana tuli selväksi, että tämän hetkinen kuivatukseen varattu raha ei riitä riittävään kuivatustulokseen. Jossain kohteessa kuivatukseen meni noin viisinkertainen määrä varattuun summaan nähden. Tulosten perusteella varattava summa olisi 5 euroa/m³. Summa on hyvä arvio, koska teoreettinen kustannustulos oli koko prosessin kustannus, ja todellisen kustannuksen tulokset eivät olleet keskenään täysin vertailukelpoisia.

Johdannossa asetetut tavoitteet saatiin kaikki täytettyä ja saadut tulokset olivat tyydyttäviä. Jatkossa seuraamalla kohteiden kuivatuskustannuksia saadaan vielä parempi käsitys siitä, mikä olisi oikea summa tavoitearviota varten.

LÄHTEET

Alitalo, Sanna 2010. T522105 Rakennusfysiikka 5 op. Opintojakson oppimateriaali syksyllä 2010 ja keväällä 2011. Kosteus. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööreille. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

Betoni 2013. Jälkihoito. Betonityöt. Paikallavalurakentaminen. Saatavissa: <http://www.betoni.com/paikallavalurakentaminen/betonityot/jalkihoito>. Hakupäivä 7.3.2013

Björkholz, Dick 1990. Rakennuksen kuivattaminen. Tampere: Rakentajain Kustannus Oy.

BY 45/BLY 7 2002. Betonilattiat. Jyväskylä: Suomen Betonitieto Oy.

Merikallio, Tarja – Niemi, Sami – Komonen, Juha 2007. Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen. Lahti: Suomen Betonitieto Oy

RIL 2000. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. Helsinki : Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 2012. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Sisäilmäyhdistys 2008a. Kosteuden siirtyminen. Saatavilla: http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/kosteusvauriot/kosteustekninen_toiminta/kosteuden_siirtyminen/. Hakupäivä 7.3.2013.

Sisäilmäyhdistys 2008b. Rakenteiden kuivatus. Saatavilla: http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/kunnossapito_ja_korjaaminen/purku_kuivaus_ja_puhdistus/rakenteiden_kuivaus/. Hakupäivä 7.3.2013.

Suljettu järjestelmä - [talvi ja kevät]

	Pinta-ala (A)		U-arvo (U)	Johtumisteho [W] =U*A*Δt			
				joulu	tammi	helmi	
ikkunat	9	(m ²)	1,00	(W/m ² K)	185	217	221
ulkoseinät	22	(m ²)	0,27	(W/m ² K)	122	143	146
ala+yläpohja	140	(m ²)	1,50	(W/m ² K)	4326	5061	5166
väliseinät	50	(m ²)	2,78	(W/m ² K)	2863	3350	3419
ulko-ovet	4,2	(m ²)	1,00	(W/m ² K)	87	101	103

Pinta-ala:	70	(m ²)
huonekorkeus:	2,5	(m)
tilavuus:	175	(m ³)
Rakennuksen korkeus:	12	(m)
kuivatettava ala:	235,1	(m ²)

5032,28 €**28,76 €/m³**

Sisäolosuhteet			
Lämpötila:	18	°C	
RH:	50	%	
Ulko-olosuhteet:			
	joulukuu	tammikuu	helmikuu
Lämpötila:	-2,6	°C	-6,6
RH:	89	%	87
Kuivatusaika:	90	vrk	
Höyrystymisenergia: 0,63 (kWh/kg)			
Sähkön hinta:	0,12	(€/kWh)	
Lämmitysenergia:	0,69	(kWh)	
Haihtumisenergia:	1760	(kWh)	
Johtumisenergia:	18369	(kWh)	
Kuivaimen energia:	1382,4	(kWh)	
Energiat yhteensä:	21511	(kWh)	
Teho yhteensä:	55,9	(kW)	

	1.pvä	seur. kk	yht.	€
Vuokrakaluston hinta:	39,9	27,09	2450,91	

Adsorptiokuivain CTR

500XT:	38 l/vrk	1,5 kW
	50,71 €	29,83 €

REMKO AMT 55-E:	55 l/vrk	0,64 kW	<- valitaan
	39,85 €	27,09 €	

Selite	joulukuu		tammikuu		helmikuu	
	määrä	yks.	määrä	yks.	määrä	yks.
kosteuden luovutus	8	7	6	5	4	3
	(g/m ² h)		(g/m ² h)		(g/m ² h)	
kuivatusala	235,1	235,1	235,1	235,1	235	235
	(m ²)		(m ²)		(m ²)	
kosteudentuotto	1881	1646	1411	1176	940,4	705,3
	(g/h)		(g/h)		(g/h)	
	45	39	34	28	23	17
	(l/vrl)		(l/vrl)		(l/vrl)	
v _u	3,57		2,69		2,55	
	(g/m ³)		(g/m ³)		(g/m ³)	
v _s	7,69	7,69	7,69	7,69	7,69	7,69
	(g/m ³)		(g/m ³)		(g/m ³)	
v _s -v _u	4,12		5,00		5,14	
	(g/m ³)		(g/m ³)		(g/m ³)	
kosteutta mahtuu	0,721		0,875		0,899	
	(kg)		(kg)		(kg)	
iv-tarve	457	400	282	235	183	137
	(m ³ /h)		(m ³ /h)		(m ³ /h)	
vaihtoa tunnissa	2,61	2,28	1,61	1,34	1,05	0,78
	(1/h)		(1/h)		(1/h)	
t _{sisä}	18		18		18	
	(°C)		(°C)		(°C)	
t _{ulko}	-2,6		-6,1		-6,6	
	(°C)		(°C)		(°C)	
Δt	20,6		24,1		24,6	
	(°C)		(°C)		(°C)	
Δp	5,3		6,2		6,3	
	(Pa)		(Pa)		(Pa)	
Q	0,06	0,06	0,04	0,03	0,03	0,02
	(m ³ /s)		(m ³ /s)		(m ³ /s)	
Ilmavirran määrä						
	(m ³ /h)		(m ³ /h)		(m ³ /h)	
haihdutusaika	15	15	15	15	15	15
	(vrk)		(vrk)		(vrk)	
Lämmitysteho	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	(kW)		(kW)		(kW)	
haihtumisteho	1,18	1,04	0,89	0,74	0,59	0,44
	(kW)		(kW)		(kW)	
johtumisteho	7,58		8,87		9,06	
	(kW)		(kW)		(kW)	
tehot yhteensä	8,77	8,62	9,76	9,61	9,65	9,50
	(kW)		(kW)		(kW)	
Lämmitysenergia	0	0	0	0	0	0
	(kWh)		(kWh)		(kWh)	
haihduttamisenergia	426,6	373,2	319,9	266,6	213,3	160
	(kWh)		(kWh)		(kWh)	
johtumisenergia	5460		6388		6520	
	(kWh)		(kWh)		(kWh)	
energiat yhteensä	6261		6975		6894	
	(kWh)		(kWh)		(kWh)	

Suljettu järjestelmä - [kesä ja syksy]

	Pinta-ala (A)	U-arvo (U)	Johtumisteho [W] =U*A*Δt		
			joulu	tammi	helmi
ikkunat	9 (m ²)	1,00 (W/m ² K)	7	18	62
ulkoseinät	22 (m ²)	0,27 (W/m ² K)	5	12	41
ala+yläpohja	140 (m ²)	1,50 (W/m ² K)	168	420	1449
väliseinät	50 (m ²)	2,78 (W/m ² K)	111	278	959
ulko-ovet	4,2 (m ²)	1,00 (W/m ² K)	3	8	29

Pinta-ala:	70 (m ²)
huonekorkeus:	2,5 (m)
tilavuus:	175 (m ³)
Rakennuksen korkeus:	12 (m)
kuivatettava ala:	235,1 (m ²)

2970,55 €**16,97 €/m³**

Sisäolosuhteet

Lämpötila:	18 °C
RH:	50 %

Ulko-olosuhteet: heinäkuu elokuu syyskuu

Lämpötila:	17,2 °C	16,0 °C	11,1 °C
RH:	71 %	78 %	84 %

Kuivatusaika: 90 vrk

Höyrystymisenergia:	0,63 (kWh/kg)
Sähkön hinta:	0,12 (€/kWh)
Lämmitysenergia:	-0,31 (kWh)
Haihtumisenergia:	1760 (kWh)
Johtumisenergia:	2571 (kWh)
Energiat yhteensä:	4330 (kWh)
Teho yhteensä:	12,0 (kW)

	1.pvä	seur. kk	yht.	
Vuokrakaluston hinta:	39,9	27,09	2450,91	€

Adsorptiokuivain CTR

500XT:	38 l/vrk	1500 W
	50,71 €	29,83 €

REMKO AMT 55-E:	55 l/vrk	0,64 kW
	39,85 €	27,09 €

Selite	heinäkuu			elokuu			syyskuu		
	määrä		yks.	määrä		yks.	määrä		yks.
kosteuden luovutus	8	7	(g/m ² h)	6	5	(g/m ² h)	4	3	(g/m ² h)
kuivatusala	235,1	235,1	(m ²)	235,1	235,1	(m ²)	235	235	(m ²)
kosteudentuotto	1881	1646	(g/h)	1411	1176	(g/h)	940,4	705,3	(g/h)
	45	39	(l/vrl)	34	28	(l/vrl)	23	17	(l/vrl)
v _u	10,41		(g/m ³)	10,65		(g/m ³)	8,50		(g/m ³)
v _s	7,69	7,69	(g/m ³)	7,69	7,69	(g/m ³)	7,69	7,69	(g/m ³)
v _s -v _u	-2,72		(g/m ³)	-2,96		(g/m ³)	-0,82		(g/m ³)
kosteutta mahtuu	-0,477		(kg)	-0,518		(kg)	-0,143		(kg)
iv-tarve	-690	-604	(m ³ /h)	-476	-397	(m ³ /h)	-1150	-863	(m ³ /h)
vaihtoa tunnissa	-3,94	-3,45	(1/h)	-2,72	-2,27	(1/h)	-6,57	-4,93	(1/h)
t _{sisä}	18		(°C)	18		(°C)	18		(°C)
t _{ulko}	17,2		(°C)	16		(°C)	11,1		(°C)
Δt	0,8		(°C)	2		(°C)	6,9		(°C)
Δp	0,2		(Pa)	0,5		(Pa)	1,8		(Pa)
Q	-0,10	-0,08	(m ³ /s)	-0,07	-0,06	(m ³ /s)	-0,16	-0,12	(m ³ /s)
Ilmavirran määrä			(m ³ /h)			(m ³ /h)			(m ³ /h)
haihdutusaika	15	15	(vrk)	15	15	(vrk)	15	15	(vrk)
Lämmitysteho	0,00	0,00	(kW)	0,00	0,00	(kW)	0,00	0,00	(kW)
haihtumisteho	1,18	1,04	(kW)	0,89	0,74	(kW)	0,59	0,44	(kW)
johtumisteho	0,29		(kW)	0,74		(kW)	2,54		(kW)
tehot yhteensä	1,48	1,33	(kW)	1,62	1,48	(kW)	3,13	2,98	(kW)
Lämmitysenergia	0	0	(kWh)	0	0	(kWh)	0	0	(kWh)
haihuttamisenergia	426,6	373,2	(kWh)	319,9	266,6	(kWh)	213,3	160	(kWh)
johtumisenergia	212		(kWh)	530		(kWh)	1829		(kWh)
energiat yhteensä	1012		(kWh)	1117		(kWh)	2202		(kWh)

Avoin järjestelmä - [talvi ja kevät]

	Pinta-ala (A)	U-arvo (U)	Johtumisteho [W] =U*A*Δt		
			joulu	tammi	helmi
ikkunat	9 (m ²)	1,00 (W/m ² K)	185	217	221
ulkoseinät	22 (m ²)	0,27 (W/m ² K)	122	143	146
ala+yläpohja	140 (m ²)	1,50 (W/m ² K)	4326	5061	5166
väliseinät	50 (m ²)	2,78 (W/m ² K)	2863	3350	3419
ulko-ovet	4,2 (m ²)	1,00 (W/m ² K)	87	101	103

pinta-ala:	70 (m ²)
huonekorkeus	2,5 (m)
tilavuus:	175 (m ³)
kuivatettava ala:	235,1 (m ²)
Rakennuksen korkeus:	12 (m)

4025,59 c

23,00 €/m³

Sisäolosuhteet

Lämpötila:	18 °C		
RH:	50 %		
Ulko-olosuhteet:	joulukuu	tammikuu	helmikuu
Lämpötila:	-2,6 °C	-6,1 °C	-6,6 °C
RH:	89 %	88 %	87 %
Kuivatusaika:	90 vrk		

Höyrystymisenergia:	0,63 (kWh/kg)
Sähkön hinta:	0,12 (€/kWh)
Lämmitysenergia:	13418 (kWh)
Haihtumisenergia:	1760 (kWh)
Johtumisenergia:	18369 (kWh)
Energiat yhteensä:	33547 (kWh)
Teho yhteensä:	12,0 (kW)

Vuokrakaluston hinta: 1.pvä seur. kk yht. 0,00 €

kosteudentuotto	1,881	1,646	(kg/h)	1,411	1,176	(kg/h)	0,94	0,705	(kg/h)
Kosteutta poistuu	1,80	1,66	(kg/h)	1,46	1,16	(kg/h)	0,96	0,73	(kg/h)
Tase:	-0,08	0,01		0,05	-0,01		0,01	0,03	

Ilmanvaihdon määrä täytyy kokeilla käsin, että taseen saa positiiviseksi. Tällöin tuuletus kykenee poistamaan yhtä paljon kosteutta, mitä tila tuottaa.

Selite	joulukuu			tammikuu			helmikuu		
	määrä		yks.	määrä		yks.	määrä		yks.
kosteuden luovutus	8	7	(g/m ² h)	6	5	(g/m ² h)	4	3	(g/m ² h)
Ilmanvaihto	2,5	2,3	(1/h)	2	1,6	(1/h)	1,3	1	(1/h)
kuivatusala	235,1	235,1	(m ²)	235,1	235,1	(m ²)	235	235	(m ²)
kosteudentuotto	1881	1646	(g/h)	1411	1176	(g/h)	940,4	705,3	(g/h)
v_u	3,57		(g/m ³)	3,53		(g/m ³)	3,49		(g/m ³)
v_s	7,69		(g/m ³)	7,69		(g/m ³)	7,69		(g/m ³)
$v_s - v_u$	4,12		(g/m ³)	4,16		(g/m ³)	4,20		(g/m ³)
kosteutta mahtuu	0,721		(kg)	0,728		(kg)	0,735		(kg)
Kosteutta poistuu	1,80	1,66	(kg/h)	1,46	1,16	(kg/h)	0,96	0,73	(kg/h)
t_{ssa}	18		(°C)	18		(°C)	18		(°C)
t_{ulko}	-2,6		(°C)	-6,1		(°C)	-6,6		(°C)
Δt	20,6		(°C)	24,1		(°C)	24,6		(°C)
Δp	5,3		(Pa)	6,2		(Pa)	6,3		(Pa)
Tuuletusaukonkoko	0,066	0,061	(m ²)	0,049	0,039	(m ²)	0,031	0,024	(m ²)
haihdutusaika	15	15	(vrk)	15	15	(vrk)	15	15	(vrk)
Ilmanvirta	0,28	0,26	(m ³ /s)	0,24	0,19	(m ³ /s)	0,16	0,12	(m ³ /s)
Lämmitysteho	6,93	6,37	(kW)	7,01	5,61	(kW)	4,70	3,62	(kW)
haihtumisteho	1,18	1,04	(kW)	0,89	0,74	(kW)	0,59	0,44	(kW)
johtumisteho	7,58		(kW)	8,87		(kW)	9,06		(kW)
tehot yhteensä	15,69	15,55	(kW)	16,77	16,62	(kW)	14,35	14,20	(kW)
Lämmitysenergia	4987		(kWh)	5048		(kWh)	3384		(kWh)
haihduttamisenergia	426,6	373,2	(kWh)	319,9	266,6	(kWh)	213,3	160	(kWh)
johtumisenergia	5460		(kWh)	6388		(kWh)	6520		(kWh)
energiat yhteensä	11247		(kWh)	12022		(kWh)	10278		(kWh)

Avoin järjestelmä - [kesä ja syksy]

	Pinta-ala (A)	U-arvo (U)	Johtumisteho [W] =U*A*Δt		
			joulu	tammi	helmi
ikkunat	9 (m ²)	1,00 (W/m ² K)	88	99	143
ulkoseinät	22 (m ²)	0,27 (W/m ² K)	58	65	94
ala+yläpohja	140 (m ²)	1,50 (W/m ² K)	2058	2310	3339
väliseinät	50 (m ²)	2,78 (W/m ² K)	1362	1529	2210
ulko-ovet	4,2 (m ²)	1,00 (W/m ² K)	41	46	67

pinta-ala:	70 (m ²)
huonekorkeus	2,5 (m)
tilavuus:	175 (m ³)
kuivatettava ala:	235,1 (m ²)
Rakennuksen korkeus:	12 (m)

2348,94 €
13,42 €/m³

Sisäolosuhteet			
Lämpötila:	27 °C		
RH:	50 %		
Ulko-olosuhteet:			
	heinäkuu	elokuu	syyskuu
Lämpötila:	17,2 °C	16,0 °C	11,1 °C
RH:	71 %	78 %	84 %
Kuivatusaika:	90 vrk		
Höyrystymisenergia: 0,63 (kWh/kg)			
Sähkön hinta: 0,12 (€/kWh)			
Lämmitysenergia: 8087 (kWh)			
Haihtumisenergia: 1760 (kWh)			
Johtumisenergia: 9728 (kWh)			
Energiat yhteensä: 19575 (kWh)			
Teho yhteensä: 93,2 (kW)			

Vuokrakaluston hinta: 1.pvä seur. kk yht. 0,00 €

kosteudentuotto	1,881	1,646	(kg/h)	1,411	1,176	(kg/h)	0,94	0,705	(kg/h)
Kosteutta poistuu	1,92	1,71	(kg/h)	1,54	1,35	(kg/h)	1,14	0,76	(kg/h)
Tase:	0,04	0,07		0,13	0,18		0,20	0,06	

Ilmanvaihdon määrä täytyy kokeilla käsin, että taseen saa positiiviseksi. Tällöin tuuletus kykenee poistamaan yhtä paljon kosteutta, mitä tila tuottaa.

Selite	heinäkuu			elokuu			syyskuu		
	määrä		yks.	määrä		yks.	määrä		yks.
kosteuden luovutus	8	7	(g/m ² h)	6	5	(g/m ² h)	4	3	(g/m ² h)
Ilmanvaihto	4,5	4	(1/h)	4	3,5	(1/h)	1,5	1	(1/h)
kuivatusala	235,1	235,1	(m ²)	235,1	235,1	(m ²)	235	235	(m ²)
kosteudentuotto	1881	1646	(g/h)	1411	1176	(g/h)	940,4	705,3	(g/h)
v_u	10,41		(g/m ³)	10,65		(g/m ³)	8,50		(g/m ³)
v_s	12,86		(g/m ³)	12,86		(g/m ³)	12,86		(g/m ³)
v_s-v_u	2,44		(g/m ³)	2,21		(g/m ³)	4,35		(g/m ³)
kosteutta mahtuu	0,428		(kg)	0,386		(kg)	0,761		(kg)
Kosteutta poistuu	1,92	1,71	(kg/h)	1,54	1,35	(kg/h)	1,14	0,76	(kg/h)
$t_{sisä}$	27		(°C)	27		(°C)	27		(°C)
t_{ulko}	17,2		(°C)	16,0		(°C)	11,1		(°C)
Δt	9,8		(°C)	11		(°C)	15,9		(°C)
Δp	2,5		(Pa)	2,8		(Pa)	4,1		(Pa)
Tuuletusaukonkoko	0,172	0,153	(m ²)	0,144	0,126	(m ²)	0,045	0,03	(m ²)
haihdutusaika	15	15	(vrk)	15	15	(vrk)	15	15	(vrk)
Ilmanvirta	0,35	0,31	(m ³ /s)	0,33	0,29	(m ³ /s)	0,15	0,10	(m ³ /s)
Lämmitysteho	4,09	3,64	(kW)	4,32	3,78	(kW)	2,82	1,88	(kW)
haihtumisteho	1,18	1,04	(kW)	0,89	0,74	(kW)	0,59	0,44	(kW)
johtumisteho	3,61		(kW)	4,05		(kW)	5,85		(kW)
tehot yhteensä	8,88	8,74	(kW)	9,26	9,11	(kW)	9,26	9,12	(kW)
Lämmitysenergia	2945		(kWh)	3113		(kWh)	2029		(kWh)
haihduttamisenergia	426,6	373,2	(kWh)	319,9	266,6	(kWh)	213,3	160	(kWh)
johtumisenergia	2598		(kWh)	2916		(kWh)	4214		(kWh)
energiat yhteensä	6343		(kWh)	6615		(kWh)	6617		(kWh)