

Teräsbetonisen sillan kansirakenteiden kuivumisen nopeuttaminen

Tiivistelmä

Tekijä Oskari Rämö	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika 2022
	Sivumäärä 36	
Työn nimi Teräsbetonisien sillan kansirakenteiden kuivumisen nopeuttaminen		
Tutkinto Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio Ville Oikari, Työpäällikkö, Kreate Oy		
<p>Tämän opinnäytetyö keskittyy uusien ideoiden kehittämiseen teräsbetonisien siltojen kansirakenteiden kuivumisen nopeuttamisessa. Kuivumisen ajanjakso johon tässä keskitytään, on jälkihoidon lopettamisesta vedeneristyksen asentamiseen. Opinnäytetyössä käsitellään kahta siltaa esimerkkeinä, joista pääsääntöisesti keskitytään 2021 valettuun siltaan. Tilaajan pyynnöstä opinnäytetyö ei sisällä tarkkoja nimiä tai kuvia, joista paljastuisi kohteen sijainti. Uusita keinoista mainittakoon CSP-teknologia (concentrated solar power), joka on monesti jäänyt aurinkopaneelien kehityksen varjoon. CSP-teknologiassa auringon valoa ja lämpöä ei yritetä muuttaa energiaksi vaan se siirretään esimerkiksi peileillä haluttuun kohtaan.</p>		
. Asiasanat betoni 1, kuivuminen 2, nopeutus 3		

Abstract

Author Rämö Oskari	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2022
	Number of Pages 36	
Title of Publication Reinforced concrete vault structures drying acceleration cost efficiently		
Name of Degree Engineer (UAS)		
Name, title and organization of the client Ville Oikari, work manager , Kreate Oy		
Abstract <p>The point of this thesis is to create new methods in idea level for shortening concrete bridges vault structures curing time from the end of aftercare to installation of water insulation. This thesis includes examples from two bridges that have been built in 2020 and in 2021. The focus will be on the bridge that has been built in 2021. Due to clients request this thesis will not include any specific names or pictures that could reveal the location of these constructions. Among the new methods to shorten the curing time of concrete bridge vault structures would be CSP-technology. CSP is an acronym from the words consentrated solar power. This technology has been severely overshadowed by solar panel technology. In CSP- technology sunshine is not converted to energy but projected to desired location. This is done usually by mirrors or similar equipment.</p>		
Keywords concrete 1, curing 2, enhansement 3		

Sisällys

1. Johdanto	2
1.1 Betonin ominaisuuksia	2
1.2 Siltojen kansivalut	3
2. Miksi holvin tulee olla kuiva ennen vedeneristystä	6
3. Tutkimuskohde	10
3.1 Vedenerityksen materiaalit	10
3.2 Kosteusmittaukset	12
3.3 Käytetty betonimassa	13
3.4 Sääolot kohteessa	14
3.5 Kuivuminen esimerkkikohteessa	14
4. Yleiset kuivumisen nopeuttamiskeinot	17
4.1 Lämmitys.....	17
4.2 Mikroaallot.....	18
5. Mahdollisia uusia keinoja nopeuttaa kuivumista.....	19
5.1 Osmoosi.....	19
5.2 Tummat sääsuojat	19
5.3 CSP-teknologia.....	20
5.4 Imubetoni	24
6. Yhteenveto.....	26
Lähteet	27

Liitteet

Liite 1. Kosteudet ja lämpötilat ilman lämpö- ja kosteusmittarilla osa 3

Liite 2. Pintakosteusmittarilla otetut kosteudet

Liite 3. Osan 1 valupöytäkirja

Käsitteet

Kosteuspitoisuus	Kosteuspitoisuus on betonimassassa olevan veden määrä painoprosentteina suhteessa betonin määrään.
Vedeneristys	Vedeneristys on erityisesti silloissa sekä kosteudelle alttiina olevissa rakenteissa oleva kerros, jonka pääasiallisena tarkoituksena on estää veden pääseminen alempiin rakennekerroksiin.
Holvi	Holvi on rakennekerros, joka on laatta mikä ei ole kiinni maassa kuten esimerkiksi lattiarakenteet ja sillan kansi.
Hydrotaatioreaktio	Hydrotaatioreaktio on betonissa tapahtuva reaktio joka käynnistyy sementin altistuessa vedelle. Hydrotaatio reaktiossa kalsiumoksidi muuttuu kalsiumdioksidiksi, mikä tuottaa lämpöä ja kovettaa betonin.
Vesi-sementtisuhte	Betonimassan painosta laskettuna siinä on oltava noin $\frac{1}{4}$ vettä tilavuudesta, että hydrotaatioreaktio saa betonin haluttuun kovuuteen.
Betonin kuivumislämpötila	Betonin kuivumiselle kaikkein optimaalisin lämpötila on yli 10 C° ja alle 60 C°, jotta kuivuminen olisi mahdollisimman nopeaa eikä lämpötila itsessään aiheuttaisi lujuskatoa.
Osmoosi	Osmoosi on reaktio, jossa eri nesteiden välinen suolatasapaino pyrkii tasaantumaan puoliläpäisevän kalvonläpi siten että, neste liikkuu vähäsuolaisesta liuksesta suolaisempaan puoliläpäisevän kalvon läpi, täten tasaten nesteiden suolatasapainon.
CSP	Englanninkielisistä sanoista concentrated solar power muodostettu akronyymi, joka tarkoittaa peileillä kerättävää ja kohdistettavaa aurinkoenergiateknologiaa.

1. Johdanto

Tämä opinnäytetyö on tehty Kreate Oy:lle ja tämän työn tarkoituksena on analysoida ja ideoida uusia tapoja, joilla voidaan nopeuttaa paikallavalettujen betonisiltujen kansion kuivumista muottien purkamisesta vedeneristysten asentamiseen välisellä ajanjaksolla. Uusien kuivumistapojen tulee olla sen kaltaisia, että ne lyhentävät kuivumisaikaa eivätkä aiheuta rakenteelle laadullisia haittoja, kuten pinnan halkeiluja tai alhaisempia lujuuksia. Tämä ajanjakso sillanrakentamisessa on usein kaikkein aikaa vievin ja ei mahdollista samaan aikaan muita työvaiheita, joten siinä olisi suuri potentiaali tehostaa työtehoa.

1.1 Betonin ominaisuuksia

Betoni on seosaine, joka muodostuu sementistä erilaisista kiviaineslajitteista, vedestä ja tarvittaessa voidaan lisätä lisäaineita kuten masuunikuonaa tai silikaa lisäämässä haluttuja ominaisuuksia. Sementti itsessään on poltettua ja jauhettua kalkkikiveä, joka joutuessaan veden kanssa kosketuksiin aloittaa hydrotaatioreaktion. Hydrotaatioreaktion aikana sementti ja vesi alkavat luomaan kristallimaisia sidoksia, jotka tuottavat lämpöä ja kovettavat betonin. Lämmön nousu on yritettävä pitää alle 60 C°, koska betonin kuivumisvaiheessa liian suureksi noussut lämpötila alentaa betonin rakenteellista lujuutta sekä aiheuttaa mekaanisia vaurioita rakenteelle. Betonin lämpötilannousu on suoraan verrannollinen ympäröivän ilman lämpötilaan, valettavaan betonin lämmöntuottoon, betonimassan koostumukseen ja rakennekerroksen paksuuteen. Betonille optimaalisin kuivumislämpötila on 20 C°, mutta Suomen oloissa +10 C° ylöspäin on yleisesti katsottuna ollut siedettävä kuivumislämpötila. Kuivuessa jokainen 10 C° nousu tiputtaa kuivumisajan puoleen. (BY 201 oppikirja 2018, 80.)

Betonissa tulee aina olemaan vettä yleensä nestemäisessä ja kaasumaisessa muodossa. Valettaessa betonimassassa on oltava vettä noin neljäsosa kokonaispainosta, että massassa oleva sementti pystyy reagoimaan. Valettu ja kuivunut betoni on huokoinen materiaali, joka imee ja luovuttaa kosteutta riippuen ympäröivistä olosuhteista, sekä itse betonisen rakenteen kosteuspitoisuudesta. Eli betonin kosteuspitoisuuden saaminen täysin 0 % on käytännössä lähes mahdotonta. (BY201 Betonitekniikan oppikirja 2018 527).

Betonin kovettumisen vaiheet ovat seuraavat. Plastinen vaihe, sitoutumisvaihe ja lujittumisvaihe. Plastinen vaihe alkaa siitä, kun sementti ja vesi pääsevät kosketuksiin toisiensa kanssa. Plastisessa vaiheessa betonissa oleva sementti reagoi siihen lisätyn veden kanssa aloittaen hydrotaatioreaktion. Tämä vaihe kestää noin 2–4 tuntia. Sitoutumisvaiheessa betonin lujuus kasvaa ja siihen sitoutunutta vettä alkaa haihtumaan. Lujittumisvaiheessa betonista on haihtunut suurin osa vedestä mikä on ollut siihen sitoutuneena. Betonin lujuus kehittyy niin pitkään, kun samassa massassa on vettä ja reagoimatonta sementtiä. (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 35).

1.2 Siltojen kansivalut

Siltojen holvien valut etenevät yleensä seuraavasti. Ensin tehdään muotti tai asennetaan järjestelmämuotti. Seuraavaksi tehdään raudoitus joko valmiista raudoituselementeistä tai paikalle tuoduista raudoitusteräksistä. Näiden jälkeen päästään osuuteen, joka ratkaisee koko rakenteen tulevan käytettävyyden, eli itse valuun. Valu suoritetaan nykyaikana lähes poikkeuksetta betonipumpuilla. Valussa betonia pumpataan muottiin ja se tiivistetään tärysauvalla, siten että ylimääräinen ilma poistuu betonista ja että betoni asettuisi mahdollisimman tiiviisti muotin jokaiseen kohtaan. Betonin valamisen aikana aloitetaan liippaus eli pinnan oikaisu. Liippauksessa valettu pinta tasoitetaan mahdollisimman tasaiseksi ja oikeaan korkoon ja oikeille kaadoille. Prosessi on käytännössä täysin sama kuin maata vasten valettavissa laatoissa, josta on havainnollistamassa kuva 1.

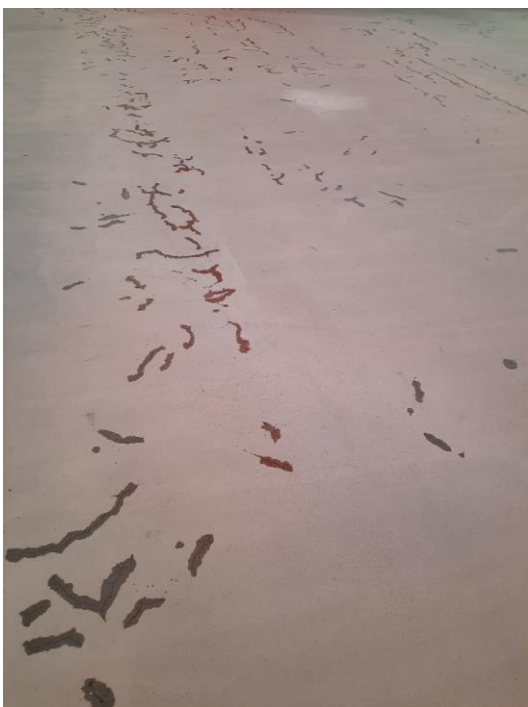


Kuva 1. Massiivisen betonirakenteen valua. Kuvassa vasemmalta oikealle betonin jälkihoitoa jälkihoitoaineella, betonipinnan tasoitus, betonin tiivistys täryttimellä ja betonin valamisen muottiin pumppaamalla. (kuva muottikolmion kotisivun selitekuva)

Lämpötiloista ja valun koosta riippuen seuraavan vaiheen alkaminen voi olla joko valun aikana tai useampi tunti sen jälkeen. Seuraavana vaiheena on hiertäminen. Hiertämisessä joko käsin tai koneellisesti tasoitetaan betonin pintaa sen kovettumisen alkuvaiheessa. Tällä tavalla saadaan varmistettua, että pinnasta tulee riittävän tasainen betonin kuivuttua. Betonin kuivumisnopeudesta riippuen voidaan aloittaa jälkihoito joko 1-5 tunnin tai vuorokauden kuluttua valusta. Jälkihoidossa betonipintaa kastellaan ja se usein myös peitetään vettä läpäisemättömällä kalvolla kuten esimerkiksi kestopeitteillä tai työmaamuovilla. Jälkihoidossa voidaan myös käyttää erityisesti jälkihoitoon tarkoitettuja aineita. Jälkihoidon tarkoitus on hidastaa betonin kuivumista siten, että betonin oma lämmöntuotanto ei nosta valetun rakenteen lämpötilaa yli 60 C° ja samalla pitäen rakenteen lämpötila- ja kosteuserot mahdollisimman pieninä. (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 49).

Siltojen betoni tulee kuivattaa alle 5 % vettä painoprosenteista, jotta vedeneristys tarttuu kunnolla, ja vesihöyry ei vaurioita rakenteita. Kuivumisaika tässä vaiheessa muodostuu usein pullonkaulaksi sillanrakentamisen aikataulussa pitkän keston vuoksi. Kuivumisajanjakso, johon tässä työssä keskitytään, on jälkihoidon lopettamisesta sillan vedeneristysten asentamiseen.

Mikäli jälkihoito ei onnistu, tulee rakenteeseen halkeamia ja mahdollisesti lujuus vähenee (kuva 2.). Jälkihoito voidaan lopettaa betonin kypsyyksluvun saavuttaessa sille asetetut arvot, tai pienemmissä kohteissa kokemuseräisellä arviolla. Jälkihoidon jälkeen rakenne ei enää tarvitse kosteutta, joten voidaan aloittaa kuivatus. Kuivatuksen alussa asennetaan ulkotiloissa sääsuoja valetulle rakenteelle. Tämän jälkeen aloitetaan valetun rakenteen kuivattaminen, joko sään salliessa ilman mitään ylimääräisiä toimia tai tarvittaessa tehostamalla ilmanvaihtoa ja/tai lisäämällä lämmitystä.



Kuva 2. Betonipinnan plastisen kutistuman aiheuttamia halkeamia paikattuna osiossa 1. joka johtuu pintakerroksen liian nopean kuivumisen aiheuttamasta plastisesta kutistumasta (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2018, 103), (kuva Oskari Rämö)

Kuivatusprosessi on myöskin täysin suhteellinen valun paksuuteen ja vallitseviin sääolosuhteisiin. Kuivuminen voi viedä viikosta useampaan kuukauteen ja jopa pidempäänkin. Pitkästä kuivumisajasta mainittakoon Hooverin pato Yhdysvalloissa, jonka kuivumisen on arvioitu vievän 125 vuotta alle 5 painoprosenttiin kosteutta tilavuudesta (Del Zotto products). Kuivumisprosessi voi viedä pidemmän aikaa kuin, itse muotin tekeminen ja valu yhteensä ja siten muodostua monesti rajoittavaksi tekijäksi aikataulun kannalta.

2. Miksi holvin tulee olla kuiva ennen vedeneristystä

Holvin tulee olla riittävän kuiva, koska liian suuri vesimäärä betonirakenteissa asettaa suuria rasituksia vedeneristeelle. Mitä suuremmat rasitukset sillan vedeneristeillä on sitä pienemmällä todennäköisyydellä se kestää sille asetettuja ajallisen keston vaatimuksia. Sillan vedeneristeen läpi päästessään vesi pääsee rapauttamaan sillan kannen betonisia rakenteita. Veden päästessä rakenteissa riittävän syvälle se alkaa ruostuttamaan raudoitusta joka vuorostaan alkaa heikentämään sillan kantavuutta ja täten lyhentäen sillan käyttöikä.

Vesieristeen vaurioitumisesta oli työkohteessa erittäin hyvä esimerkki. Vuonna 2020 kohteen vieressä valettiin siltaa, jonka kannen pintarakenteet olivat vaurioituneet osmoosin aiheuttamien kuplien takia, ja kesällä 2021 korjattiin 2020 valetun sillan vedeneristystä (kuva 3). Osmoosin aiheuttamien kuplien synnyn syyt ei ole vielä täysin tiedossa, mutta siitä kuului työn ohessa useampia teorioita. Viereisen sillan betoni, työnjohtajat ja suunnittelijat olivat samat kuin kesällä 2021 tehdyssä sillassa ja tässä sillassa oli runsaasti osmoosin aiheuttamaa kupruilua kannen huolellisesta kuivattamisesta ja puhdistamisesta huolimatta. Tästä sai hyvin tietoa, kuvia ja näkökulmia tähän työhön.



Kuva 3. Osmoosikuplia vedeneristuksessa (kuva Oskari Rämö)

Viereisen sillan pintarakenteiden vaurioitumismekanismeista esitettiin runsaasti erilaisia teorioita. Sillan pintarakenteiden vauriot olivat erittäin runsaasti keskusteltu aihe, koska silta oli tehty täysin infraRYL:in ohjeistuksen mukaan. Yleisin teoria vaurioihin oli se että, vedeneristeen päälle oli laitettu vain 3 cm suoja-asfaltti mikä itsessään ei riittänyt suojaamaan vedeneristystä sillalla liikkuneelta raskaalta liikenteeltä ja täten irrotti tai rikkoi epoksia, mikä edesauttoi kupruilua. Toinen selitys, jonka kuulin lähinnä Ruskon Betonin laboranteilta oli seuraava. Veden tilavuus kasvaa 100 kertaiseksi sen muuttuessa nestemäisestä olomuodosta kaasuksi, joka luo epoksin alle hydrostaattisen paineen, mikä rikkoi ensin epoksikerroksen. Tämän jälkeen vesihöyry nostaa bitumikermin ja täten myös asfaltin kuprulle. Kolmas mahdollinen syy, oli seuraava. Oli pääteltävissä että, lämpötilan nousu lämmitti vettä, joka sitten pyrki haihtumaan normaalia nopeammin. Tämä pakotti vesihöyryn liikkumaan niihinkin suuntiin missä se ei voinut haihtua luonnollisesti. Tämä lisäsi veden eristeen alla olevan vesihöyryn painetta siihen pisteeseen, että pinta alkoi kupruilemaan (taulukko1 ja kuvaaja1). Osmoosin aiheuttamien kuplien syntymekanismia ei tällä hetkellä tunneta, mutta sen on arvioitu johtuvan osmoosin pinnan vedeneristystä vasten nostamasta vedestä, joka irrottaa vedeneristeen. (Suomen Betoniyhdistys ry 2010, 31).



Kuva 4. Yksittäinen Osmoosin aiheuttama kupla vedeneristeessä (kuva Oskari Rämö)

Osmoosikuplan muodostuessa vesihöyry on jo rikkonut bitumikermin alla olevat vedeneristeet (kuva 5). Osmoosikupla on ilmapallomainen vedeneristeiden ja betonin tai vedeneristeiden väliin jäänyt vesihöyryn tasku, jota voisi verrata käyttäytymisellään huonosti liimattuun tarraan, johon olisi jäänyt ilmakupla. Ajan myötä tämä kupla puhkeaa, mikä rikkoo viimeisetkin vettä eristävät kerrokset ja täten tekee vedeneristyksen hyödyttömäksi (kuva 5). Osaltaan tähän vaurioitumismekanismiin voi myös vaikuttaa silloissa raskas liikenne, tai lika, joka mikä haittaa tai jopa irrottaa epoksia betonista ja siten myös heikentää vedeneristyksen kiinnittymistä. Tämä edesauttaa vesihöyryn pääsemistä epoksikerrosten läpi. (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 527).



Kuva 5. Avattu bitumikermin kupru (kuva Oskari Rämö)

3. Tutkimuskohde

Turvallisuus syistä sillan tarkkaa sijaintia ei voi käsitellä, ja ei myöskään voi tuottaa pohjakuvaa sillasta sen muodon helpon tunnistettavuuden johdosta. Kohde on Uudellamaalla rakennettu silta. Sillan rakentamisen aikataulu oli lyhyehkö verrattuna muihin vastaavan kokoihin siltakohteisiin. Kohde oli pinta-alaltaan noin 2000 m², joka oli jaettu 3 pääosaan ja muutamiin pienempiin kohtiin. Pääosien koot olivat seuraavat. Ensimmäinen osa 600 m² toinen 550 m² ja kolmas 345 m² paksuutena oli kauttaaltaan 800 mm. Silta on perustettu teräsbetonisien pilareiden varaan. Lämpötilallisesti sillan laatan valu osui kaikkein huonoimpaan mahdolliseen ajankohtaan, jolloin oli poikkeuksellisen kovat helteet, eli heinäkuun alusta elokuulle kesällä 2021. Osat valettiin järjestyksessä 3,1 ja 2.

Osat valettiin yksi kerrallaan ja niiden valut aloitettiin aamuyöstä tai alkuillasta lämpötilan hallinnan helpottamiseksi. Kohteessa jokaisen valun aikana päivälämpötila nousi yli +30 C° asteeseen, mikä myöskin pakotti valaessa äärimmäiseen huolellisuuteen. Tämä lisäsi myös vaikeutta betonipinnan hiertämisessä valun loputtua, koska betoni oli yleensä ehtinyt jo monesti saavuttaa hydrotaatioreaktiossa liiallisen lujittumisasteen. Jälkihoito aloitettiin noin 5 tuntia valun loppumisen jälkeen asentamalla betonipinnan päälle muovikalvot sekä kastelulla. Reunapalkkien muotit kyettiin purkamaan jo 2 vuorokautta valun loppumisesta. Alapinnan muotit voitiin purkaa viikon kuluttua valun päättymisestä. Viikko valuista mitattiin kosteuden määrät pintakosteusmittarilla (liite 2) kosteudet olivat välillä 1,4–4 % kokonaispainosta.

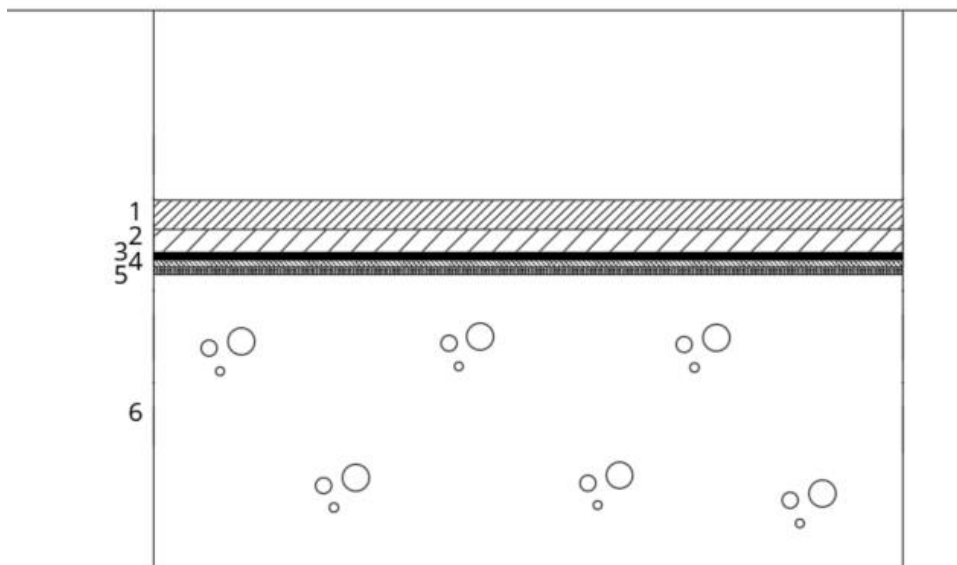
3.1 Vedenerityksen materiaalit

Kannen vedeneristys suoritettiin 2 viikon kuluttua valusta purtop 400 kaksikomponenttisella liuotinvapaalla polyurealla. Tämä suoritettiin siten, että aluksi epoksilla päällystettiin betonipinta, jonka päälle levitettiin kvartsihiekkää. Epoksin kuivuttua reilun vuorokauden levitettiin Purtop 400 kaksikomponenttieriste ruiskuttamalla epoksin ja kvartsihiekan päälle. Purtop 400 levitettiin siten että se peitti kokonaan kannen ja reunapalkit puolen välin palkkien sisäpuolella (kuva 6). Tämän työvaiheen jälkeen levitettiin holville bitumisively. Tämän päälle asennettiin suoja-asfaltti 3 cm kerroksena. Suoja-asfaltin päälle on levitetty normaali 4 cm asfalttibetoni kulutuskerrokseksi.



Kuva 6. Purtop 400 asennusta (kuva Oskari Rämö)

Purtop 400 on melko uusi vedeneristysmateriaali, jonka käyttö Suomen rakentamisessa on toistaiseksi ollut melkovähäistä. Maailmalla sen käyttö on kuitenkin ollut runsaampaa. Kuu-
luisista käyttökohteista mainittakoon Hongkong-Zhuhai-Macao (Purtop valmistaja) silta mikä on maailman pisin merisilta. Materiaali on todella nopeaa asentaa johtuen sen nopeasta kuivumisesta, mistä tulee todella monia etuja. Etuihin voidaan lukea nopean kuivumisen johdosta oleva helppous pinnoittaa. Purtop 400 kuivuu niin nopeasti, että letkut, joiden kautta pinnoitusmateriaali kulkee voivat olla tuntia aikaisemmin päällystetyn pinnan päällä ilman tarttumisista. Nopeuden ansiosta voidaan myös lyhentää kokonaisrakentamisaikaa. Nämä sanottuina lyhentämällä vedeneristykseen (kuva 7) kuluvaa aikaa voidaan kompensoida betonin kuivattamiseen kuluvaa aikaa.



40 mm	1	Asfalttibetoni kulutuskerros
30 mm	2	Asfalttibetoni suoja-asfaltti
2-5 mm	3	Bitumisively
10-20 mm	4	Purtop 400 ruiskutuseriste
5-15 mm	5	Poly-urea pinnoitus+kvartsihieikka
800 mm	6	Teräsbetoni-laatta

Kuva 7. Sillan holvin rakennetyypikuva (piirtänyt Oskari Rämö)

3.2 Kosteusmittaukset

Kosteusmittaukset suoritettiin kahdella eri tavalla. Viikko valuista tehtiin mittaukset käsikäyttöisellä pintakosteusmittarilla InfraRYL mukaan. Käytössä oli Exotek 380 kosteusmittari. Kun kosteusmittauksien kaikki tulokset olivat alle 5 % suoritettiin InfraRYL mukainen palakosteusmittaus laboratoriossa. Näillä vaiheilla saatiin varmuus siitä että, betonisen valun kosteuspitoisuus oli riittävän alhainen, eli alle 5 % painoprosentteina. Kosteuspitoisuuden 5 % on tullut suoraan Purtop:in vaatimuksista, koska sen on havaittu olevan riittävän alhainen kosteuspitoisuus siihen, että sillan vedeneristeille ei tule betonin kosteudesta johtuvia laadullisia alenemia, kuten osmoosin aiheuttamaa kupruilua.



Kuva 8. Pinta vedeneristystöiden jälkeen sääsuojan alla kuva Oskari Rämö)

3.3 Käytetty betonimassa

Kohteessa käytetty betonimassa oli C35/45. 100 v, pakkaskestävyys p 30 kansi palkit p 50, notkeusluokka S3 ja raekoko 32 mm. Luku C35/45 kertoo betonin vaadittavan minimilujouden (MPa) puristuskokeissa. Yleisesti ottaen nämä luvut ylitetään todella suurella marginaalilla, esimerkiksi viereinen 2020 tehty silta, oli myös C35/45 lujuutta mutta betoni oli kovettuessaan 70 (MPa) vahvuista. Ensimmäinen luku on puristuslujuus standardin malliselle sylinterimäiselle betonikappaleelle ja jälkimmäinen 150 mm sivuiltaan olevan kuution vaadittavan puristuslujuuden. 100 v taas kertoo betonin vaadittavan kemiallisen käyttöiän minimikeston vuosissa, S3 kertoo betonin notkeuden valuhetkellä. P30 ja P50 taas kertovat pakkasenkeston. Massassa oli sideaineina Portland sementtiä sekä masuunikuonaa. Masuunikuona oli lisätty hidastamaan valun lämmönkehitystä, koska valuajankohdat olivat lämpötiloiltaan poikkeuksellisen kuumia sekä valumäärät olivat tilavuudeltaan massiivisia. Betonimassan toimittajana toimi Ruskon betoni (Rudus betonivalintaopas 2022).

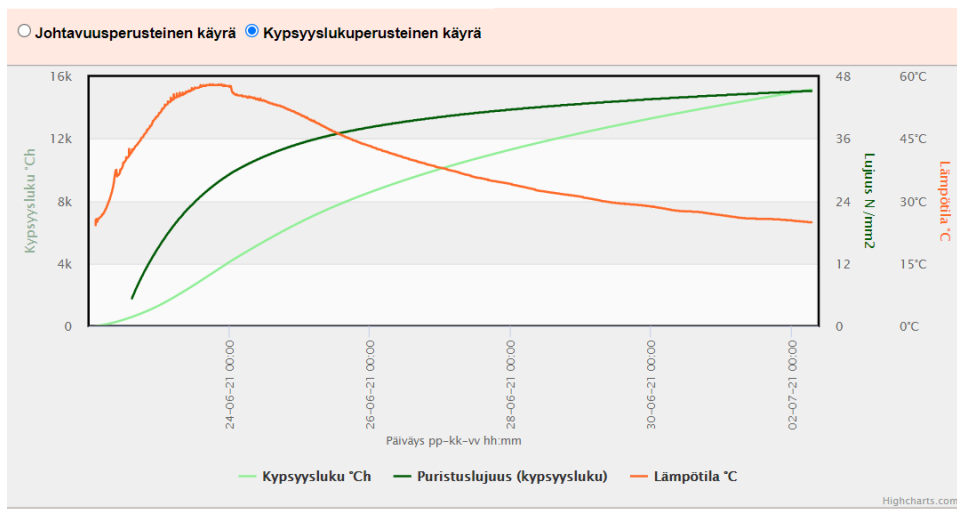
3.4 Sääolot kohteessa

Lämpötilat alueella olivat kaikkina valuajankohtina päivällä vähintään +30 C°. Alueella ollut rakennuskanta vaikutti myös runsaasti ilman lämpötiloihin. Ilman lämpötilaeroja ei dokumentoitu, mutta karkeasti oli huomattavissa noin 5 C° asteen ero rakenneosien välillä. Ainoa järkevä selitys tälle lämpötilaerolle on alueellinen rakennuskanta. Rakennuskannasta huomioitavaa on suuret heijastavat pinnat. Tämä huomio johti sellaiseen kehitysideaan, että asentamalla heijastavia pintoja massiivisien valujen lähelle voitaisiin lisätä niiden lämpötilaa kuivatusvaiheessa keräämällä ja kokoamalla heijastavien pintojen avulla lämpöä haluttuihin kohtiin. Rakennuskannan lämpöä kokoava ja heijastava ilmiö on aiheuttanut ongelmia laajalti. Tästä esimerkkinä Lontoossa peilipintainen rakennus kutsumanimeltään radiopuhelin osoitteessa Fencchurch 20, on aiheuttanut runsasta haittaa nostamalla lämpötiloja kadulla siihen pisteeseen, että sen lähetyvillä olevissa autoissa on alkanut sulamaan muoviosia (NBC News 2013).

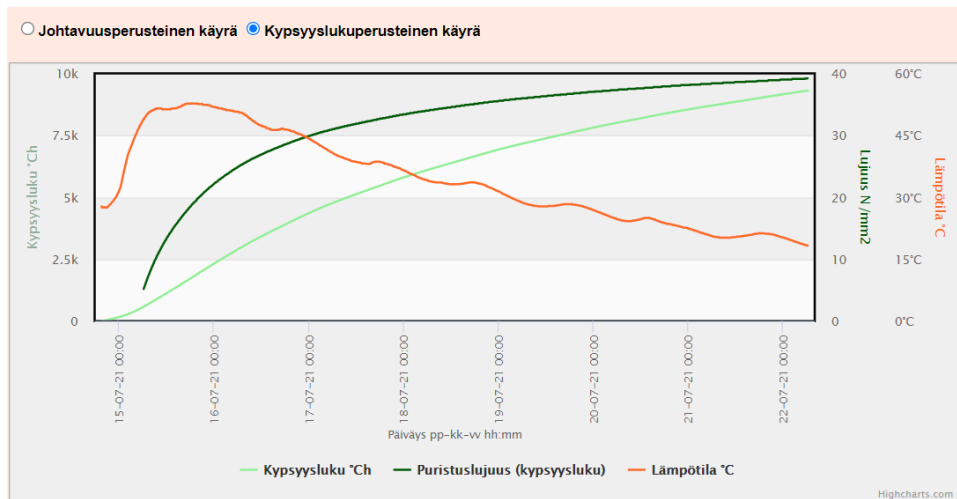
3.5 Kuivuminen esimerkkikohteessa

Betonin kuivuminen esimerkkikohteessa oli nopeaa johtuen poikkeuksellisen kuumista ilman lämpötiloista. Tämä itsessään loi poikkeukselliset olosuhteet työskentelylle, koska betonin kuivumisnopeus oli poikkeuksellisen suuri, työmaalla jouduttiin käyttämään paljon aikaa jälkihoitoon kuuluvaan kasteluun. Valmis betonipinta oli myös peitetty muovilla veden haihtuvuuden rajaamiseksi. Viimeisen osuuden aikana lämpötilat kuitenkin nousivat liian suuriksi pinnassa siten että, viimeiseen osuuteen tuli paljon pieniä halkeamia pintaan (Kuva 2.). Tämä oli varsin odottamatonta, koska tämä osuus sai kaikkein vähiten suoraa auringonvaloa. On oletettavissa että, tämä johtui hyvin pitkälti siitä, että viimeistä osuutta ympäröi rakennuksien vaaleat seinät, jotka heijastivat suuren osan lämmöstä juuri siihen alueelle. Osan 2 pintakosteusmittaukset liitteessä 3.

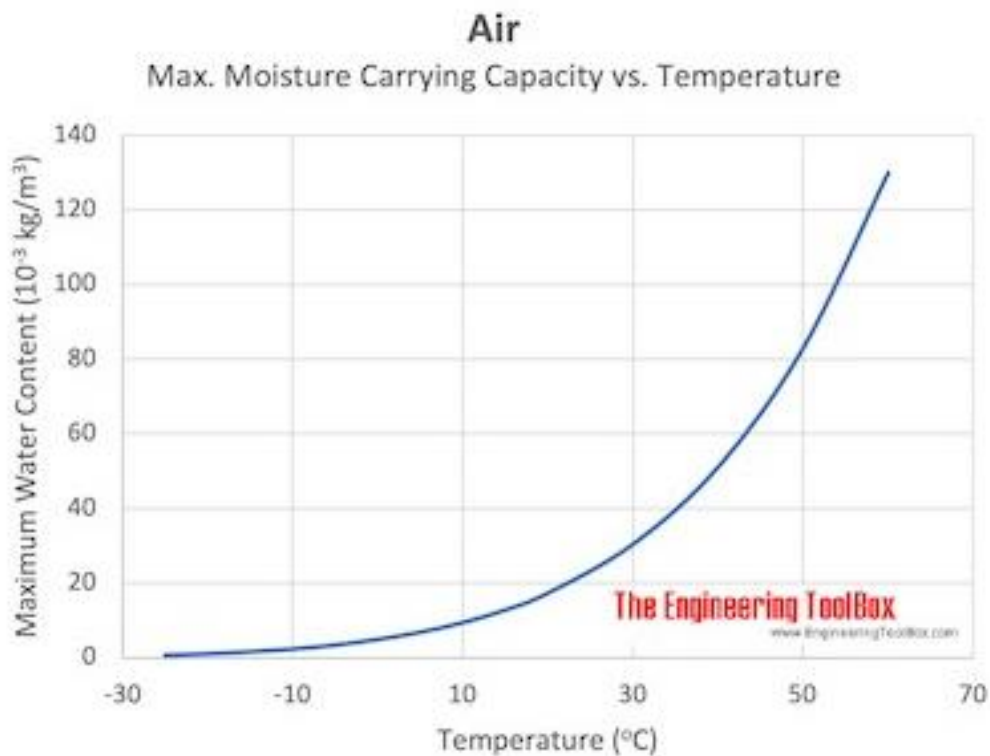
Kuvaajista näkee kahden osion kuivumiset. Osion 1 Kuivumisen aikana betonipintaan tuli runsas määrä pieniä halkeamia. Tämä todennäköisesti johtuu ilman runsaista lämpötiloista pelkästään holvin yläpuolella, koska esimerkiksi osiossa 3 (kuva 5) betonin lämpötilat olivat suuremmat kuin osiossa 1 (kuva 6). Osio 1 oli kahden valkoisen pintarakenteen välissä mikä itsessään aiheutti runsasta lämpötilan nousua rakenteen yläpuolella samaan aikaan holvin alapuolen ollessa varjossa ja matalammissa lämpötiloissa. Osio 3 oli itsessään varsin lähellä heijastavaa peilipintaista lasia mikä heijasti sekä holvin ylä- että alapuolelle lämpöä. Tästä voidaan päätellä, että lämpötilan nostaminen toimii tehokkaimmin, mikäli se toteutuu useammalla pinnalla samanaikaisesti.



Kuva 9. Osan 1 kuivumis- ja lujuudenkehityskäyrä



Kuva 10. Osan 3 kuivumis- ja lujuudenkehityskäyrä



Kuva 11. Kuvaaja kertomassa ilman kyvystä sitoa itseensä kosteutta suhteessa Lämpötilaan

Taulukko 1 Ilman kyky sitoa kosteutta taulukoina (Engineering toolbox)

Temperature		Max. Water Content	
($^{\circ}\text{C}$)	($^{\circ}\text{F}$)	(10^{-3} kg/m^3)	(10^{-3} lb/ft^3)
-25	-13	0.64	0.040
-20	-4	1.05	0.066
-15	5	1.58	0.099
-10	14	2.31	0.14
-5	23	3.37	0.21
0	32	4.89	0.31
5	41	6.82	0.43
10	50	9.39	0.59
15	59	12.8	0.8
20	68	17.3	1.07
30	86	30.4	1.9
40	104	51.1	3.2
50	122	83.0	5.2
60	140	130	8.1

4. Yleiset kuivumisen nopeuttamiskeinot

Betoni kuivuu vanhan nyrkkisäännön mukaan noin 1 cm viikossa normaalioloissa, eli 20C° ja kuivana pidettynä. Tällä hetkellä yleisimpiä keinoja saada lyhennettyä betonin kuivumisaikaa ovat, mahdollisimman ison raekoon käyttäminen, veden määrän minimointi, kuivumisolosuhteiden optimointi esimerkiksi lämmittämällä ja valetun pinnan kuivana pito. Sementti vaatii kuitenkin minimissään 25 % painostaan vettä kyetäkseen kemiallisesti sitoutumaan. Lähtökohtaisesti korkea lämpötila ja matala ilmakosteuspitoisuus nopeuttavat betonin kuivumista.

4.1 Lämmitys

Lämmitys betonin kuivattamiseen voidaan jakaa kahteen eri osioon, jotka ovat itse betonin lämmitys ja ilmamassan lämmitys betonin yläpuolella. Ilman lämmitys perustuu siihen, että ilman lämpötila on suoraan verrannollinen ilman kykyyn absorboida itsensä kosteutta. Ilman lämpötilan noustessa kasvaa myös ilman kyky sitoa kosteutta betonista mikä itsessään tehostaa huomattavasti betonin kuivumista. Toinen tapa tehostaa betonin kuivumista lämmittämällä on lämmittää itse betonia. Tämä on yleensä käytetyin tapa talvella. Itse betonin lämmityksellä myös holvin päällä oleva ilma lämpenee ja täten tehostaa kuivumista. Lämmitykseen lisättyä tuuletus tehostaa huomattavasti kuivumista mahdollistaen uuden kuivemman ilman siirtymisen holville.

Lämmitykseen on useita erilaisia keinoja. Yksi yleisimmistä on betonin raudoitukseen asennettavat lämmitysjohdot ja putkistot. Lämmitysjohdot sekä putkistot lisäävät betonin kuivumista sekä lisäämällä lämpöä betonissa ja betonin yläpuolisessa ilmamassassa mikä tehostaa kuivumista huomattavasti. Ilman lämmittäminen on myöskin hyvä keino erityisesti sen takia että ilman ominaislämpökapasiteetti on huomattavasti pienempi kuin betonin. Ilman lämmitys ei ole yhtä tehokas kuin itse betonin lämmitys mutta huomattavasti vähäenergisempää.

4.2 Mikroaallot

Saneerauskohteissa käytössä oleva mikroaalloilla kuivattaminen ei ole päässyt yleistymään infrarakentamisessa, mutta voisi suoda merkittäviä etuja verrattuna nykyisiin metodeihin. Suurimpia etuja sekä haittoja tässä tekniikassa on sen tehokkuus. Mikroaalloilla kuivattaminen voi aiheuttaa ihmisille terveydellistä haittaa. Tämä estää työskentelyn samanaikaisesti kohteessa ja on siten myös varsin huolellista käyttöä vaativa tekniikka. Sen etuina on erityisesti mikroaaltojen vain veteen kohdistuva lämmitysteho, joka vähentää energian hukkaa kohdistamalla tehonsa keskitetysti haluttuun kohtaan ja erityisesti veteen. Mikroaallot myös kuivattavat betonia nopeasti mahdollistaen nopeamman lujudenkehityksen heti valun jälkeiseen ajankohtaan. (Mikroaalloilla kuivattamisen tutkimus Tohtori. Natt Makul 8.2017)

5. Mahdollisia uusia keinoja nopeuttaa kuivumista

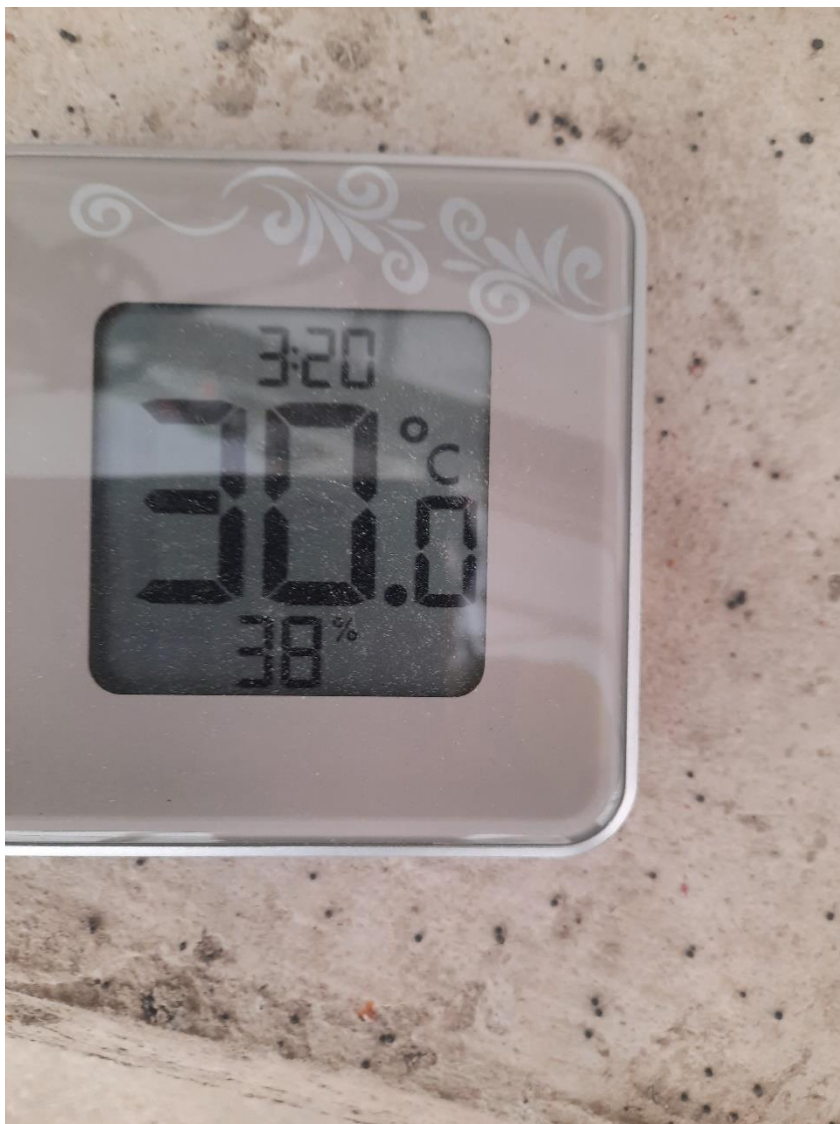
Mahdollisia uusia keinoja betonin kuivumisen nopeuttamiseen on useita. Nämä eivät ole läheskään kaikki toteuttamiskelpoisia johtuen niiden hinnasta epäkäytännöllisyyksistä sekä muista ominaisuuksista. Osa taas on kehityskelpoisia. Kehityskelpoisista mainittakoon las-kennallisesti järkevät CSP teknologia ja muut aurinkoa hyödyksi käyttävät menet. Aina ei uudet tavat tehdä asioita ole parhaimpia, vaan tulee hienosäätämällä saada maksimoitua vanhojen tapojen käytettävyyttä ja tehokkuus. Tästä esimerkkinä mainittakoon jo käytössä olevat etäluettavat dataloggerit joiden avulla saadaan selville tarkka ajankohta siihen, että voidaan siirtyä jälkihoidosta kuivattamiseen. Tämä itsessään poistaa runsaasti päällekkäisyyksiä ja täten lyhentää rakentamisaikaa.

5.1 Osmoosi

Osmoosin käyttäminen on yksi keino, joka on herättänyt työmaalla runsaasti kiinnostusta. Tässä tavassa laitettaisiin valetun holvin päälle merivettä patja mikä imisi osmoosireaktion avulla vettä betonista. Mikäli tämä toteutettaisiin kesällä haihdunta poistaisi vettä merive-sipatjasta ja täten estäisi liuoksen laimenemisen pisteeseen, missä osmoosi reaktiona py-sähtyisi. Suurin ongelma tässä on se, että suolaisen veden aiheuttamat kloridirasitukset eivät mahdollista halvempien rakennebetonien käyttöä ja aiheuttaisivat paljon raskaampia rakenteita kuin ilman osmoosia kuivatetuissa rakenteissa mikä söisi kaiken hyödyn pois osmoosipohjaisesta kuivatuksesta (Solubiologian oppimateriaali 2022).

5.2 Tummat sääsuojat

Yksi huomattavissa oleva ongelma oli se, että useimmissa sääsuojissa käytetään vaaleita kestopeitteitä, mitkä alensivat suojan alapuolella olevia lämpötiloja alemmaksi kuin ulko-lämpötila. Tämä asia tuli ilmi lukuisista otetuista lämpötilan mittauksista. Tämä ongelma johtuu hyvin pitkälti juuri valkoisien värin runsaasta valon ja lämmön heijastuskapasiteetista. Valkoisien sääsuojien lämpöä heijastavat vaikutukset näkyvät myöskin betonin kuivumis-käyrissä. Toisaalta mikäli laitettaisiin tummat kestopeitteet sääsuojiin, voitaisiin nostaa läm-pötiloja sääsuojan alla niin korkeiksi että, olisi sen alla työskentely todella raskasta kuumuu-den johdosta. Esimerkkinä kuva 12, jossa sääsuojan ulkopuolella lämpötila oli kuvan otta-mishetkellä noin 35 C°.



Kuva 12. Sääsuojan alla ollut kosteus- ja lämpömittari (kuva Oskari Rämö)

5.3 CSP-teknologia

Valon ja lämmön heijastavuutta hyväksikäyttävä kuivatustapa olisi kohteen antamien tuloksien perusteella varsin mielenkiitoinen kokeilu. Tämä voitaisiin suorittaa asentamalla rakenne, joka heijastaisi runsaasti valoa ja lämpöä kuivatettavan rakenteen viereen. Kasvanut lämpö itsessään kasvattaisi betonin kuivumisnopeutta varsin runsaasti. Tähän rakenteesseen voitaisiin käyttää esimerkiksi työmaatelineitä ja valkoista kestopeitettä. Toinen mahdollinen ratkaisu luontaisen energian käyttöön olisi CSP (Consentrated Solar Power) teknologiassa käytetyt peilit, joilla pystyisi heijastamaan auringonvaloa suoraan holvin alle. Näiden avulla saataisiin nostettua lämpötilaa huomattavasti ja siten tehostettua lämmitystä

energiatehokkaasti ja halvalla hinnalla. Suomessa auringonvalon energia vuoden aikana neliömetrille on 675–1100 kWh (Motiva konserni 2021).

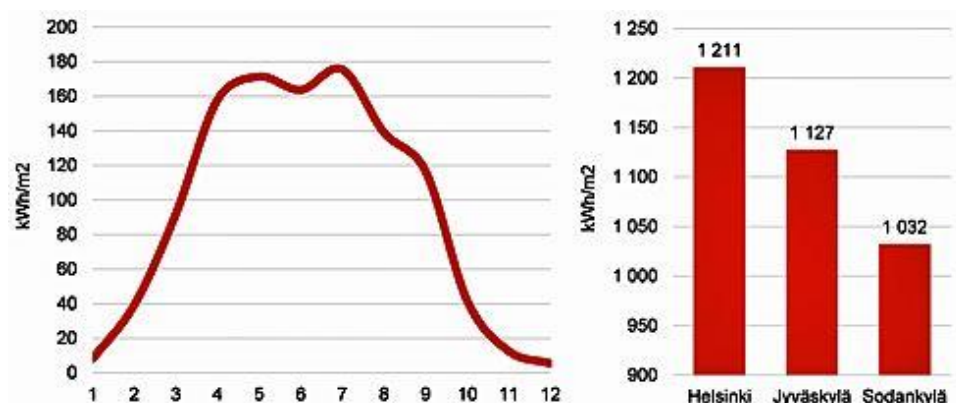
Tämä tekniikka on yleisesti tunnettu ja hyödynnetty monessa eri paikassa ja tapauksessa. Näistä laajan mittakaavan esimerkkinä on CSP-teknologia. Tässä tekniikassa auringon valo ohjataan peileillä haluttuun kohtaan ja yleisesti tätä tekniikkaa käytetään energia tuotannossa. Energiantuotannossa yleisesti käytetyin metodi on asettaa peilit ympyrän muotoisen kenttään missä peilit ohjaavat auringon valo kentän keskellä olevaan torniin missä peilien heijastama energia otetaan talteen ja säilötään sulattamalla suolaa. (Brunell säätiö 4.3.2021)



Kuva 13. CSP-torni Dubaissa (kuva Dubain vesi ja sähköministeriö)

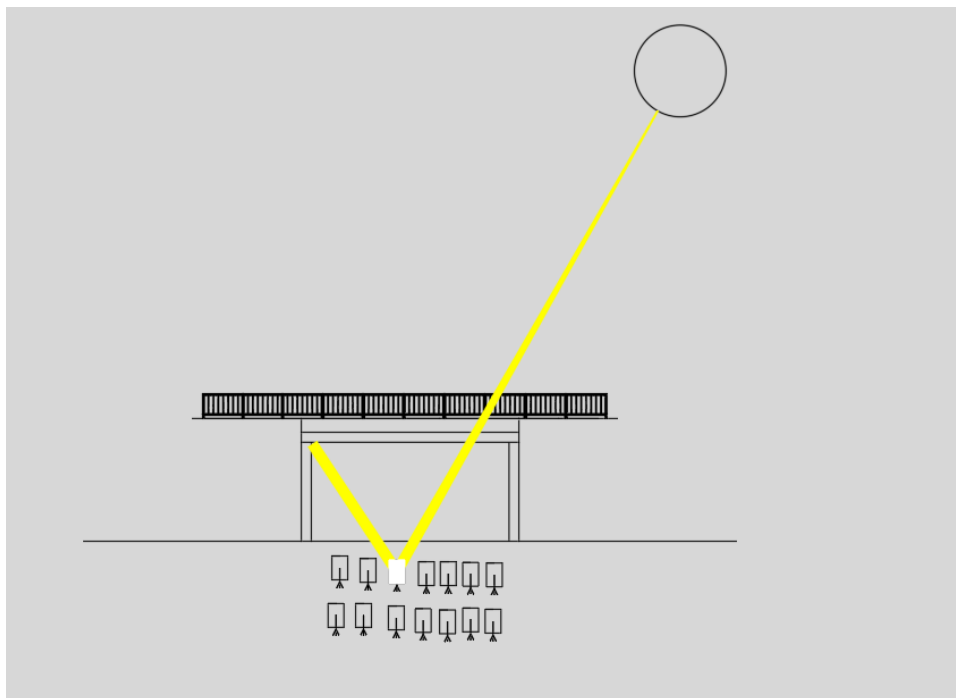
Laskennallinen takaisinmaksuaika CSP-peileille olisi 5 senttiä kilowattitunnin hinnalla noin 5 viikkoa mikäli peilien hyötysuhteeksi voitaisiin olettaa olevan noin 80 % luokkaa ja peilit olisivat käytössä ajanjaksolla huhtikuu- syyskuu. Kuvaaja 2 mukaan voidaan päätellä CSP teknologian hyödyllisyys eri ajankohtina ja tehot Suomen olosuhteissa. Mikäli käytössä ei olisi sähköverkkoa vaan jouduttaisiin käyttämään esimerkiksi diesel aggregaatteja peilien takaisinmaksuaika, olisi huomattavasti lyhyempi. Laskemalla (120 kWh/30) saadaan yhden peilin neliölle vuorokaudessa heijastama aurinkomäärä, joka on noin 4 kWh. Hinnat ovat vuodelta 2021, koska tapahtumat maailmalla vuonna 2022 ovat laittaneet hinnat liikkeeseen, jota on todella vaikea ennustaa.

Kuvaaja 2. aurinkoenergian kuukausittaiset määrät kilowattitunneissa (Motiva konserni)



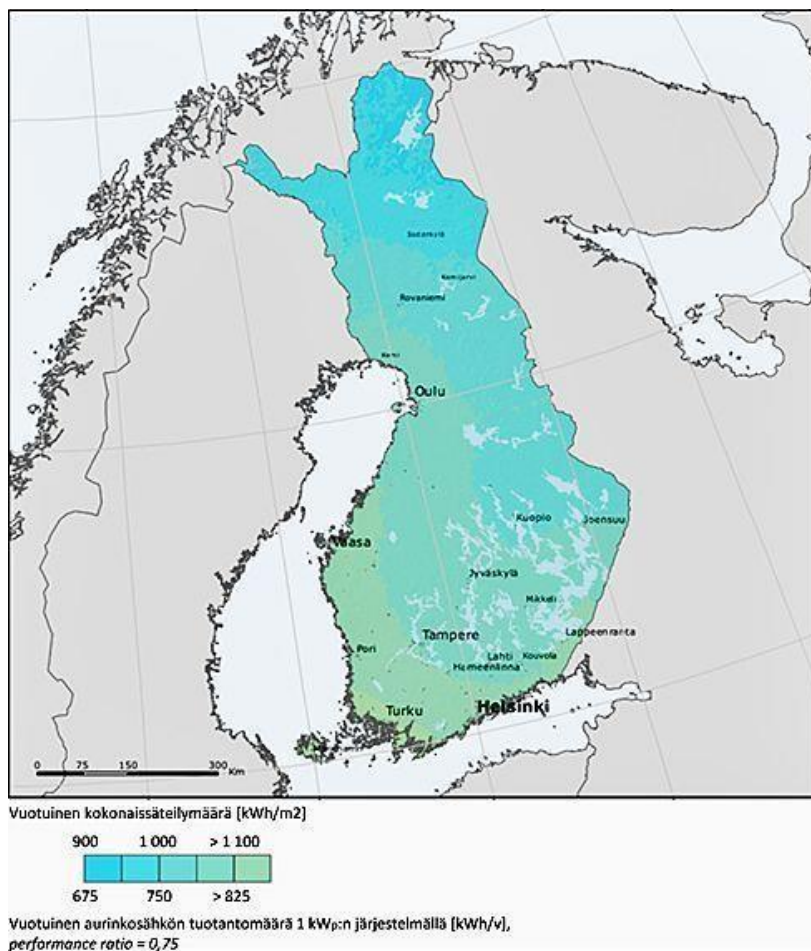
CSP teknologia luottaa auringon valoon mikä ei välttämättä ole Suomen oloissa kaikkein luotettavinta, mutta sen alhainen hinta tekisi siitä varsin kilpailukykyisen. Tämä teknologia ei vaatisi melkein yhtään energiaa. Ainoa energian tarve olisi CSP peilien kuljetuksen ja valmistamisen käyttämä energia. Peilien hinta on vuonna 2021 noin 7 USD eli 6,11 Euroa (Alibaba verkkokauppa 15.11.2021).

CSP-teknologia kuitenkin ei olisi kuitenkaan tarkoitettu ainoaksi metodiksi vaan jo olemassa olevien tueksi. Yksi mahdollisesti tehokkaimmista tavoista käyttää CSP- teknologiaa olisi asettaa se valettavan holvin viereen ja alapuolelle heijastamaan holvin pohjaan lämpöä. Tämä lisäisi kuivumista nostamalla lämpötilaa holvin pohjassa, mikä on perinteisesti ollut todella vaikea kohta saada lämpötilaa nostettua ilman massiivisia lisärakenteita. Esimerkiksi yksi mahdollisuus CSP-teknologian käyttöön olisi se, että peilejä laitettaisiin runsas määrä valettavan holvin viereen. Aurinko kiertää idästä länteen etelän kautta. Tähän tietoon nojaten voisi peilit kohdistaa siten että, auringon liikkua lämmittävä valon heijastus liikkuisi holvin päästä päähän lämmittäen koko holvin alapuolta (kuva 14).



Kuva 14. CSP-toimintamekanismi havainnekuva. Toimintamekanismissa auringosta lähtenyt valo ja lämpö ohjataan sillan pohjaa peileillä (piirtänyt Oskari Rämö)

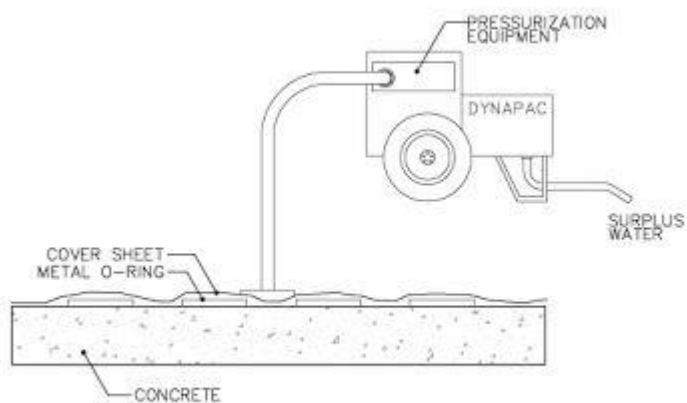
Suurimmat ongelmat CSP-teknologiassa ovat sen vaatima runsas tila ja käyttöajan rajallisuus. Haasteeksi myös muodostuu kelien vaihtelevuus ja se että tätä teknologiaa ei Suomessa ole kovin laajalti käytetty. Suomi on myös väli-ilmastoinen, eli täällä on vaihtelevina ajanjaksoina mannermainen ja merellinen ilmasto vuodesta ja kuukaudesta riippuen mikä saattaa joihinkin kuukausina tai jopa vuosina tehdä tämän teknologian käyttämisen lähestulkoon hyödyttömäksi.



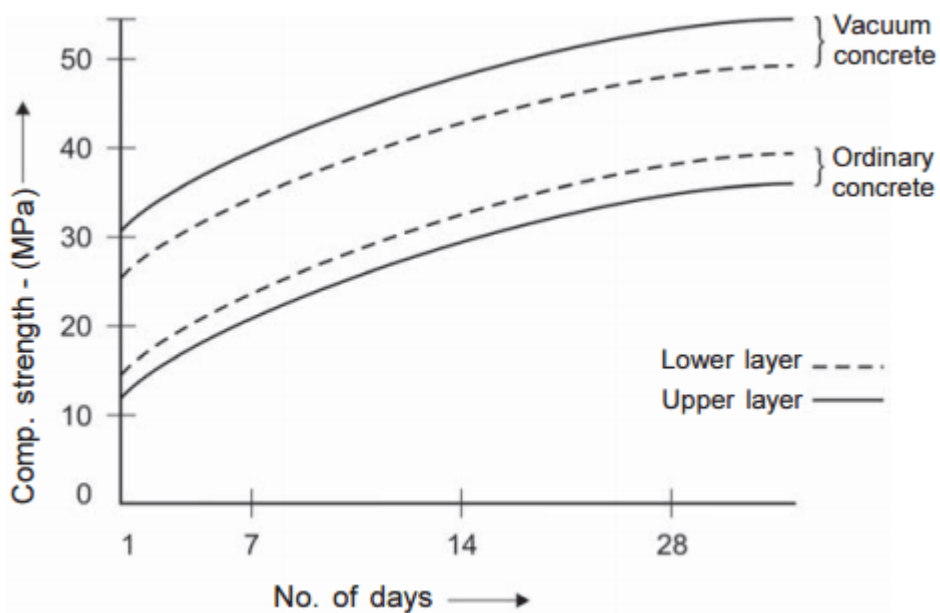
Kuva 15. Suomen vuotuinen aurinkoenergiämäärä Motiva Oy 15.11.1

5.4 Imubetoni

Imubetoni on lähes poikkeuksetta käytössä vain lattiavaluissa tutkittujen lähteiden mukaan. Imubetonia on käytetty Suomessa laajasti sotien aikana esimerkiksi Salpalinjan betoniset bunkkerit ovat hyödyntäneet tätä teknologiaa. Ulkomailla imubetonia on käytetty paljon aikojen saatossa ja sitä käytetään edelleenkin runsaasti verrattuna esimerkiksi Suomeen. Imubetonissa poistetaan ylimääräinen vesi ennen kovettumisen alkamista alipainepitteen ja pumpun avulla (kuva16). Tällä metodilla saadaan nopeasti lujitettua betonia normaaliin kuivumiseen verrattuna (materiaalitekniikan oppikirja Tohtori. M.A. Aziz). Imubetonin haittoina ovat runsas energiankulutus ja työn vaativuus. Lisäongelmaksi muodostuu tarvittavien työvälineiden korkea hinta, mikä vaatii suurehkon alkupääoman ja runsaan käyttöasteen välineistölle. (civilknowledge.com 2020).



Kuva 16. Imubetonin toimiperiaate (materiaalitekniiikan oppikirja Tohtori. M.A. Aziz)



Kuva 17. Imubetonin lujuuskehityskäyrä ja vapaasti kuivuvan betonin lujuudenkehityskäyrä rinnakkain. (civiltoday.com)

6. Yhteenveto

Betonin valta-asema on jokseenkin uhattuna kasvaneiden ympäristöllisten vaatimuksien johdosta. Tämä sanottuna betonin asema on toistaiseksi kuitenkin niin vankka, että sen valmistukseen liittyvät metodit ja toimintatavat ovat ainakin toistaiseksi kannattavia kehittää. Kehittämällä nopeutta holvivalujen suorittamiseen ja tehostamalla Betonisien rakenteiden kuivumista on aikojen saatossa kokeiltu useita eri tapoja, joista osa on jäänyt ja osa on poistunut. Toistaiseksi eniten käytetyt metodit ovat lämmitys ja tuuletus eri muodoissaan.

Ilmastollisten lähtökohtien kannalta CSP-teknologia olisi todella suotuisa sen vähäisen energiantarpeen ansiosta, koska kesäkuukausina voitaisiin suuri osa sähkö- ja öljylämmityksestä korvata aurinkoenergialla. CSP-teknologian rahallinen hyöty kasvaa huomattavasti johtuen pienestä alkusijoituksesta ja uudelleenkäytön runsaasta mahdollisuudesta. Sääsuojien kestoitteiden vaihtaminen valkoisista tummiin väreihin olisi varsin toimiva ratkaisu vaikkakin saattaisi aiheuttaa joitakin työtekniisiä ongelmia kohonneiden lämpötilojen takia. Imubetoni on ollut todella laadukas keino nopeuttaa kuivumista, vaikkakin nykyaikana sen käyttö olisi osittain kyseenalaista sen vaatiman runsaan energiamäärän takia. Kuten niin monessa muussakin asiassa olisi mahdollisten uusien tekniikoiden tarkoitus tulla jo vanhoiksi ja hyväksi havaittujen keinojen rinnalle. Mikäli uudet metodit olisivat kuitenkin tehokkaan ylivertaisia niillä voisi joissain tapauksissa korvata jo olemassa olevia tapoja.

Lähteet

Betoniyhdistys betonivalintamateriaali viitattu 21.9.2022 saatavilla <http://www.betoniyhdistys.fi/media/kurssimateriaalia/betonilaborantti-ja-myllari-2020/3.jakso/betonin-valinta-10.3.2020-am.pdf>

Purtop 400 tuote-esite viitattu (3.10.2021) saatavissa <https://www.mapei.com/fi/fi/tuotteet-ja-ratkaisut/tuoteluettelo/tuotetiedot/purtop-400-m>

Finnsementti lujuusopas viitattu (28.9.2021) saatavissa <https://finnsementti.fi/palvelut/tieto-betonista/betonin-lujuus/>

Ruduksen betonituotetluettelo luettu (3.3.2022) saatavissa <https://www.rudus.fi/tuotteet/betoni/rakennebetonit/5790/p-lukubetonit-rakenteet>

Purtop 400 käyttöohje viitattu (3.11.2021) saatavissa <https://irp-cdn.multiscreen-site.com/dc2599f0/files/uploaded/2120-purtop400m-gb.pdf>

Pennsylvanian yliopiston opetussivusto viitattu (13.10.2021) saatavissa <https://www.e-education.psu.edu/earth111/node/557>

Ruskon betonin sertifikaatit viitattu (20.10.2021) saatavissa <https://www.ruskonbetonietela.fi/wp-content/uploads/2020/12/Sertifikaatti-ISO-45001-Ruskon-Betoni.pdf>

Secca esittely viitattu (27.10.2021) saatavissa <https://www.secca.fi/seccadry.html>

NBC news Marc Lallanila uutisartikkeli syyskuu 2013 Viitattu (3.11.2021) saatavissa <https://www.nbcnews.com/sciencemain/london-skyscraper-can-melt-cars-set-buildings-fire-8c11069092>

Solubiologia oppimateriaali viitattu (3.11.2021) saatavissa <https://www.solunetti.fi/fi/solubiologia/osmoosi/2/>

Yhdysvaltain energiatehokkuus ja uusiutuvien energiamuotojen virasto viitattu (4.11.2021) saatavissa <https://www.energy.gov/eere/articles/5-concentrating-solar-power-technologies-impacting-industry>

Brunell säätiön nettisivut 4.3.2021 viitattu (9.10.2021) saatavissa <https://www.brunel.net/en/blog/renewable-energy/concentrated-solar-power#anchor9>

Alibaba nettikauppa viitattu (15.11.2021) saatavissa https://www.alibaba.com/product-detail/China-Manufacturer-4mm-Dish-Solar-Reflective_1914075036.html?spm=a2700.7724857.normal_offer.d_title.5b5a7c5a8p5w8h

Motiva konsernin auringon energiasta kertovat kotisivut viitattu (15.11.2021) saatavissa https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa

Suomen betoniyhdistys Ry. 2018. BY 201 Betonitekniikan oppikirja. Helsinki: BY koulutus.

Betonin kuivumisen nopeuttaminen ohjekirja <http://betoninkovetus.fi/wp-content/uploads/2018/11/BET-betonin-kuivumisen-nopeuttaminen-ohjekirja-2018.pdf>

Dell Zotto Yhdysvaltalainen betonielementtiurakoitsija viitattu (3.4.2022) saatavissa <https://delzottoproducts.com/2017/03/15/long-will-take-concrete-hoover-dam-cure/>

Yhdyskuntatekniikan insinöörille tarkoitettu opaste sivusto viitattu (24.11.2021) saatavissa <https://civiltoday.com/civil-engineering-materials/concrete/27-vacuum-concrete-definition-advantages>

Yhdyskuntatekniikan insinöörien tietopankki viitattu (24.11.2021) saatavissa <https://www.civilknowledges.com/vacuum-concrete/>

Insinöörin työkalupakki viitattu (29.11.2021) saatavissa https://www.engineeringtoolbox.com/maximum-moisture-content-air-d_1403.html

Aurinkoenergiuutiset kuva (17.2.2021) saatavissa <https://helioscsp.com/worlds-tallest-concentrated-solar-power-tower-completed/>

Kuva 1 muottikolmio kotisivut saatavissa <https://www.muottikolmio.fi/betonin-jalkihoito-aine-levitetaan-katevasti-lehtipuhaltimella/espoo-4/>

Finsementin opas viitattu (24.10.2022) saatavissa <https://finnsementti.fi/palvelut/tietoa-betonista/tietoa-betonista-pienrakentajalle-ja-rautakauppiaalle/kysytyimmat-kysymykset/>

Natt Makul Tieteellinen artikkeli luettu (19.11.2022) saatavissa <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958946517307096>

Suomen betoniyhdistys Ry. 2010. BY 54 Betonilattian pinnoitusohjeet. Helsinki: BY koulutus.

Liite 1. Kosteudet ja lämpötilat ilman lämpö- ja kosteusmittarilla sääsuojan alla osa 3

PVM	Kosteus	ilman lämpötila
6.7.2021 klo 8:52	56	24,2
12:41	43	27,5
15:55	40	28,6
7.heinä		
07:31	76	23
10:46	58	26,2
15:27	49	27,4
8.heinä		
08:08	69	25
11:45	73	24,5
9.heinä		
07:35	56	20,5
10:54	43	23,6

Liite 2. Osan 2 pintakosteusmittarilla otetut kosteudet

Kosteusmittaukset osa 2

mittaaja	Oskari Rämö	Oskari Rämö
1	2,7	18 3,3
2	2,3	19 3,4
3	3	20 3,1
4	2,6	21 3
5	3,2	22 3,5
6	2,6	23 3,5
7	2,8	24 3,1
8	2,4	25 3,1
9	3	26 3
10	2,7	27 3,5
11	3,4	28 3,8
12	3,5	29 3,6
13	3,9	30 3,2
14	2,9	31 3,7
15	3,0	32 3,1
16	3,6	33 3,5
17	3,9	34 3,0
		35 1,4
		36 2,7
		37 2
		38 3
		39 3,4
		40 3
		41 3,5
		42 3,2
		43 2,9
		44 3,3
		45 3,5
		46 3,1
		47 4,2
		48 3,2
		49 2,8
		50 3,1

4.8.2021

Liite 3. Holvin osa 1 valupöytäkirja



Betonointisuunnitelma ja betonointipöytäkirja

Sivu 1 / 2

Projekti / Hanke:	Tilaaja:	Urakoitsija:
		Kreate Oy
1 k:n Betonityönjohtaja:	Avustava betonityönjohtaja:	Rakennosa:
	Oskari Rämö	Kansi
		Betonoitava rakenne:
		Kannen mittaosa 1 T1-T5

BETONIMASSA

Lujuus- ja rakenneluokka	C35/45, Ro11, R1, suunnittelukäyttöikä 100 v.
Pakkasenkestävyys	Holvi P30 Reunapalkki P 50
Notkeus	S3
Raekoko	#32
Lisäaineet	kts. suhteustiedot
Betonin toimittaja	Rusko Betoni Tuusula ja Vantaa

BETONOINTITYÖT		SUUNNITELMA	PÖYTÄKIRJA
Alustava valuaajankohta		5.7.2021	6.7.2021
Betonointiaikataulu		18:00-7:00	18:00-7:00
Tehollinen työaika	[h]	13	13
Betonimäärä	[m ³]	570	549
Betonikuormien lukumäärä	[kpl]	72	70
Betonointinopeus	[m ³ /h]	44	42
Nousunopeus	[m/h]	>0,5	>0,5
Ilman lämpötila	[°C]	+15	+15
Betonimassan siirtotapa muottiin		Pumppu 47	Pumppu 47
Betonointityökunta		1+11	1+11
Betonimassan tiivistämistapa		Vibrat 40-60 mm 5 kpl	Vibrat 40-60 mm 5 kpl
Betonipinnan oikaisu- / hiertomenetelmä		Useita konehiertimia sekä tärypalkki	Useita konehiertimia sekä tärypalkki

LAADUNVALVONTA

Puristuslujuuden toteaminen	Puristuskuutioita 12 kpl holvista ja 6 kpl reunapalkista
Pakkasenkestävyyden toteaminen	Ilmamäärien ottaminen infraRYL mukaan ensimmäisestä 5 jonka jälkeen joka 10 kuormasta
Lämpötilanseuranta	Etäluettava loggeri (consensor)
Betonipinnat ja suojaetäisyydet	Raudoitustarkastus ja mittauspöytäkirja
Muut laadunvalvontatoimenpiteet	Koekappaleita 3 kpl