

Varmaþróun sements

Nauðsynlegt er að þekkja til varmaþróunar sements í steypu til þess að geta framkvæmt hitastigslíkingu og metið þróun þrýstipóls, hættu á sprungum vegna hitastigsspennu, frostþol o.fl. fyrir tiltekna byggingarhluta.

Innræn varmaþróun (adiabatísk hitamyndun) er mæld með reglubundnum hætti í sementi frá Aalborg Portland. Mælingarnar eru framkvæmdar samkvæmt staðlaðri blöndu, sbr. töflu 1.

	kg/m ³
Sement	310
Vatn	143
V/S-hlutfall	0,46
Kvarssandur 0/4 mm	812
Sjávarmöl 4/8 mm	445
Sjávarmöl 8/16 mm	677

Tafla 1: Blöndunarhlutfall fyrir steypu notað til mælingar á adiabatískri hitamyndun

Hitamyndunin er sýnd með eftirfarandi jöfnu:

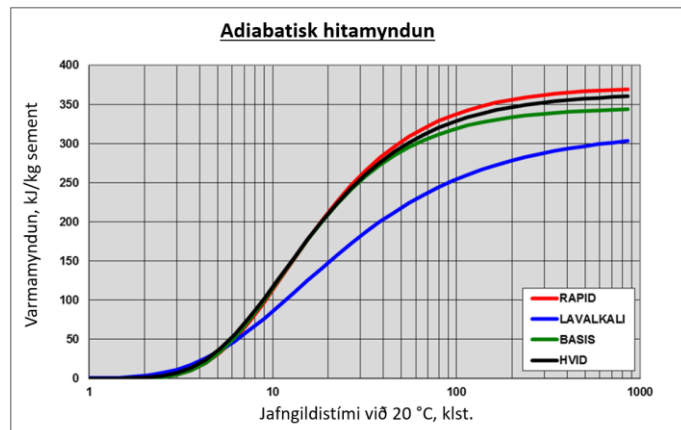
$$Q(M) = Q_{\infty} * \exp(-(\tau_e / M)\alpha)$$

þar sem M stendur fyrir tímalengdina og fastarnir Q_{∞} , τ_e og α , fyrir sement frá Aalborg Portland koma fram í töflu 2.

Varmaþróunarbreytur	RAPID sement	BASIS sement	LÁGALKALÍ SÚLFATPÓLIÐ sement	AALBORG WHITE
Q_{∞} kJ/kg	373	346	316	364
τ_e m.-tímar	11,8	10,9	14,0	11,3
α	1,08	1,14	0,78	1,05

Tafla 2: Meðalgildi (2015/2016) f. mælingar á adiabatískri hitamyndun

Varmaþróunin er einnig sýnd á mynd 1.



Mynd 1. Varmaþróun í sementi frá Aalborg Portland – meðaltal fyrir 2015/2016.

Áhrif frá öðrum efnum og breytum

Sement er ekki eina efnið sem hefur áhrif á varmaþróunina. Hún er m.a. háð íblöndunarefnum og v/s-hlutfallinu.

Best er auðvitað að mæla varmaþróun tiltekinnar steypu, en sé þess ekki kostur geta þær leiðréttingar sem hér er lýst reynst góð nálgun.

Possólanefni s.s. svifaska og kísilyrk, losa einnig varma.

Varmaþróun í svifösku er ekki „föst stærð“ heldur fer hún eftir sviföskunni, sementinu sem henni er blandað við, sem og magninu sem fer í steypuna.

Samanlögð áhrif á varmaþróunina (þ.m.t. hugsanleg víxlverkun við sementið) eru talin vera á milli 150 og 180 kJ/kg, sem svarar til 40-50% af varmaþróun sementsins, en varmaþróunin er hægari.

Munurinn á hraða varmaþróunarinnar jafnast að hluta út þar sem það er hin uppsafnaða varmaþróun sem þróun hitastigsins í steypunni byggist á.

Hvað kísilyrk varðar hafa svipaðar athuganir skilað sér í því að notað er gildi upp á 1,0 í TempSim fyrir kísilyrk, sem reynst hefur skila nokkurn veginn sama varma og sement.

Íblöndunarefni geta haft mismunandi áhrif á efnahvörfin, en eru allajafna annað hvort hlutlaus (loftíblöndunarefni), tefjandi (flest þjálnefni) og flotefni.

Þegar notaður er venjulegur skammtur af flotefni hefur það miðlungi tefjandi áhrif, allt að 3-4 tíma, en með stærri skammti má auka áhrifin verulega.

Töfin felur oftast í sér seinkun á því að hefðbundið efnahvörf hefjist, sem oft hefur aðeins í för með sér seinkun á hækkingu hitastigs, en óbreyttan hámarkshita.

Þegar verið er að steypa mjógerð mannvirki við vetraraðstæður, þar sem hitinn í steypunni er umtalsvert hærri en lofthitinn, getur steypan kólnað áður en efnahvörfin hefjast af alvöru, en slíkt getur lækkað hámarkshitann nokkuð.

Í TempSim forritinu¹ er hægt að færa inn ætlaða tölur í fjölda klukkustunda.

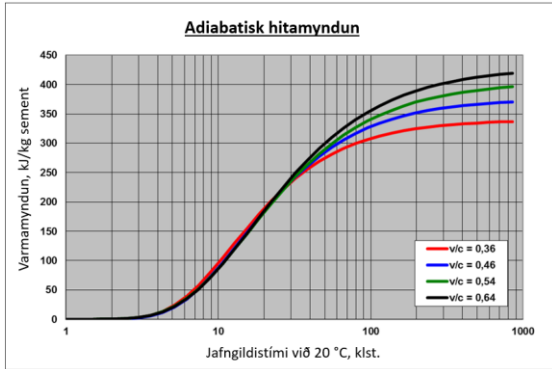
Ekki hefur verið fjallað mikið um áhrif hersluflytandi efna á varmaþróunarferlið en almennt verður svölítið hærri varmaþróun (þó áfram frekar takmörkuð) á fyrstu klukkustundunum, en svo fara efnahvörfin að líkjast hefðbundnum efnahvörfum, oft af svölítið minni krafti.

Varmaþróunin, sem áfram er takmörkuð, sem á sér stað á fyrstu klukkustundunum getur stuðlað að því að viðhalda hitastigi steypunnar við vetraraðstæður (þar sem hersluflytandi efni eru hvað mest notuð) en á hinn bóginn er sjaldgæft að hámarks-hitastigið hækki samhliða aukinni notkun hersluflytandi efna.

¹ TempSim er forrit frá Aalborg Portland, sem er þróað til að nota við hitastigslíkingu fyrir einföld steypuþversnið.

Vatns/sements-hlutfallið hefur áhrif á varmaþróunina. Þegar hægst fer á varmaþróuninni eftir tvo sólarhringa er það að hluta til vegna þess að minna magn er eftir af sementi sem ekki hefur hvarfast, og að hluta til (einkum ef v/s-hlutfall er lágt) vegna þess að aðgengi að vatni minnkar stöðugt og að „staðbundinn vatnsskortur“ í kringum óhvarfað sement heftir efnahvörfin.

Því lægra sem v/s-hlutfallið er, því meira hægist því á varmaþróuninni, eins og sést á mynd 2.



Mynd 2. Varmaþróun fyrir RAPID-sement miðað við mismunandi v/s-hlutfall.

Eins og fram kemur fer m.a. endanlegt hitastig Q_{∞} eftir v/s-hlutfallinu og er því í raun ekki sérstakur eiginleiki sementsins heldur breyta með tiltekna eðlisfræðilega þýðingu.

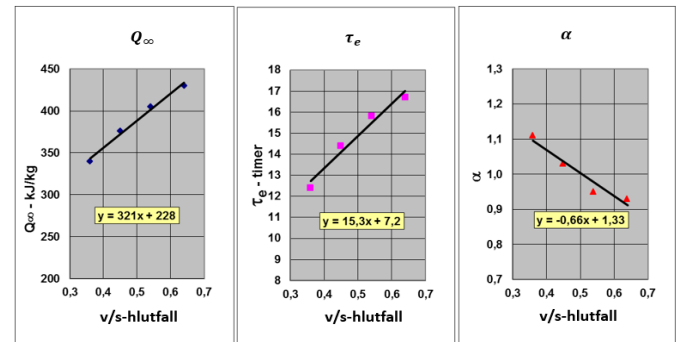
Hinar breytur tvær breytast sömuleiðis kerfisbundið, eins og sést á mynd 3.

Á grundvelli þessa eru settar fram formúlur til leiðréttingar á v/s-hlutfalli, sbr. eftirfarandi, sem einnig eru innbyggðar í TempSim.

$$Q_{\infty} = (0,85 \times v/s + 0,61) \times Q_{\infty} \text{ frá töflu 2}$$

$$\tau_e = (1,05 \times v/s + 0,52) \times \tau_e \text{ frá töflu 2}$$

$$\alpha = (1,28 - 0,64 \times v/s) \times \alpha \text{ frá töflu 2}$$



Mynd 3. Tengsl breytanna við v/s-hlutfallið.

Hitastigslíkingar

Með þeim leiðréttingum sem hér er lýst miðað við bindiefnissamsetningu (sement, svifösku og kísilryk), íblöndunarefni og v/s-hlutfall ætti að nást góður árangur við áætlun hitastig með TempSim forritinu.

Hitastigslíkingar eru þó almennt nákvæmastar þegar um er að ræða stærri byggingarhluti með stórt þversnið yfir 30 – 40 cm, þar sem óvissa í tengslum við einangrun og mótaefna, hefur mun meiri þýðingu þegar um smærri byggingarhluti er að ræða með þversnið undir 20-30 cm. //

Höfundur

Jacob Thrysoe

Tæknilegur ráðgjafi, M.Sc.

Aalborg Portland A/S, Industri

Netfang: jacob.thrysoe@aalborgportland.com