

HÖRÐNUN STEYPU – ÁHRIF HITTA Á STEYPU SPENNUR

Gylfi Magnússon, VSÓ Ráðgjöf

Ágrip úr erindi

Í erindinu er gerð grein fyrir helstu þáttum sem geta valdið spennum í steypu meðan á hörðnun hennar stendur. Tilgangur með spennuútreikningum á hörðnunartíma steypunnar er sprottinn af áhuga manna á að þekkja betur hættu á sprungumyndun.

Staðlar og verklýsingar setja hitamyndun í steypunni skorður og því verður við undirbúning steypuframkvæmda að gera sér grein fyrir væntanlegum hita sem myndast meðan steypan harðnar.

Svo sjá megi hvort grípa þurfi til sérstakra aðgerða til að stjórna steypuhita, s.s. að einangra mót til þess að takmarka hitamun í þversniði steypunnar eða nota innsteyptar kælislaufur til að lækka max. hita í miðju þversniði, verður steypuframleiðandi að reikna út hversu hár hitinn verður í steypuáfanganum.

Sementsmagn og sementsgerð gegna þar veigamiklu hlutverki, en auk þess skiptir upphafshiti steypunnar máli, mótagerð og einangrun og síðast en ekki síst efnisþykktir þversniðs sem steyppt verður.

Forsenda þess að geta reiknað spennur sem myndast í steypunni á hörðnunartíma er að þekkja hitadreifingu í steypunni. Þannig er nauðsynlegt að þekkta síbreytilegan hita $\theta(x,y,z,t)$, þar sem t er tíminn, á sérhverjum stað (x,y,z) í steypumassanum $(bxhxl)$.

Útreikningar á spennum í harðnandi steypu eru mjög flóknir. Efniseiginleikar steypunnar eru síbreytilegir frá einum stað til annars og háðir síbreytilegu hitastigi. Þannig er t.d. fjaðurstuðull steypunnar $E_{cm} = E_{cm}(x,y,z,t,\theta(x,y,z,t))$, þ.e. fall af tíma: t , hita $\theta(x,y,z,t)$ og staðsetningu (x,y,z) . Sama á við um togstyrk steypunnar f_{ctm} , þrýstistyrk f_{cm} , skrið (creep) ϵ_{cc} og rýrnun (shrinkage) ϵ_{cs} .

Í útreikningum á spennum er notaður „maturity“ tími, einnig kallaður „temperature adjusted age“ (gráðudagar). Í Eurocode 2 (EC2) er sagt til um hvernig reikna skal „maturity“ tíma. Líkingar EC2 byggja á rannsóknarvinnu P. Freiesleben Hansen, brautryðjanda á þessu sviði. Fyrr á tímum voru stundum notaðar líkingar kenndar við Saul og Nurse (1951) en þær brjóta í bága við nokkur eðlisfræðilögmál og er fátítt að vitnað sé til þeirra nú á dögum.

Skv. EC2 má finna hitastigsháða eiginleika steypunnar með því að nota „maturity“ tíma. M.ö.o. þegar hitadreifing, $\theta(x,y,z,t)$, í steypumassanum er þekkt sem fall af tíma eru efniseiginleikar steypunnar, hvar sem er í steypumassanum, þekktir sem fall af tíma.

Til þess að reikna út spennur í steypu og járnþvingun þarf síðan að fullnægja jafnvægilíkingum, randskilyrðum, „fysískum- og geometriskum“ skilyrðum fyrir „elastísk“ efni eða „viscoelastísk“ efni eftir atvikum, þar sem efniseiginleikar eru síbreytilegir frá einum stað til annars allan hörðnunartímann. Nauðsynlegt er að taka tillit til þvingunar í efninu sjálfu (innri þvingun) s.s. skriðs og rýrnunar steypunnar samtímis, hitaáraun (þenslu eða samdrætti).

Við bætist síðan ytri þvingun þ.e. hvers konar þvingun sem aftrar hitaþenslu eða samdrætti steypunnar. Ytri þvingun getur þannig t.d. stafað af lögum steypuþversniðsins, hornbreytingum, þynningum, úrtökum o.s.frv., og valdið sprungum á ungum aldri steypunnar. Á þessu aldursskeiði steypunnar getur skrið (creep) haft gagnleg áhrif og dregið úr togspennum af völdum innri og ytri þvingunar.

Í útreikningum var reiknað með breytilegum efniseiginleikum steypunnar sbr. ákvæði EC2. Í EC2 kemur fram hvernig reikna megi E_{cm} sem fall af tíma og sömuleiðis togstyrk f_{ctm} , þrýstistyrk f_{cm} , skrið (creep) ϵ_{cc} og rýmum (shrinkage) ϵ_{cs} . Hitapanstuðull steypu α og Poisson hlutfallið ν eru fastar skv. EC2, þ.e. breytast ekki með tíma. $\alpha = 10 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$ og $\nu = 0,2$ meðan steypan er órifin. Fyrir járnbandingu er reiknað með hitapanstuðli og fjaðurstuðli sbr. EC2.

Til þess að meta hættu á sprungumyndun er athugað hvort $\sigma_1(x,y,z,t,\theta(x,y,z,t)) \geq f_{ctm}(x,y,z,t,\theta(x,y,z,t))$, þ.e. hvort max höfuðspenna í steypunni (sem er togspenna) á hverjum stað sé stærri eða jöfn togþoli steypunnar. EC2 gefur ekki upp hvaða skorður skuli setja á togþolsstreitu, sem væri einnig eðlilegt að athuga og var slíkri athugun því sleppt.

Fjaðurstuðull steypunnar vex hraðar en togþolið. Ástæða þess er fyrst og fremst sú að fjaðurstuðull steypunnar (E-módúll) ræðst að mestu leyti af E-módúl fylliefnanna, sem eru óháð hitastigi steypunnar. Meðan á hörðun steypunnar stendur gætir mótstríðandi áhrifa. Með tímanum eykst annars vegar styrkur steypunnar, sem dregur úr líkum á sprungum. Hins vegar eykst E-módúll steypunnar þannig að spennur af völdum hvers konar þvingunar, t.d. rýmnunar og hitabreytinga, aukast og geta valdið sprungum.

Hvers konar þvingun, sem aftrar þenslum eða samdrætti steypunnar (þegar steypan kólnar), getur valdið togspennum. Ef þessar spennur verða hærri er togþol steypunnar springur hún. Hvað verður ofan á, áhrif hitaþenslu og rýrnunar eða dempanði áhrif skriðs í steypunni, fer eftir aðstæðum hverju sinni. Auðveldlega má sjá fyrir sér fjölmargar ytri þvinganir sem leiða til sprungumyndunar og erfitt, ef ekki útilokað, að koma í veg fyrir þær. Útkoma úr spennuútreikningum verður því jafn margbreytileg og ytri randskilyrði segja til um. Enga almenna reglu má draga af slíkum útreikningum aðra en þá að þvingum formbreytinga getur valdið sprungum.

Áhugavert er því að skoða sérstaklega áhrif innri þvingunar einnar og sér. Þ.e. þvingunar (steitu) sem stafar eingöngu af efniseiginleikum steypunnar sjálfar meðan á hörðun stendur. Í verkefninu var því steita af völdum hitabreytinga, rýmnunar, skriðs og járnbandingar athuguð án áhrifa frá ytri þvingun. Eins og áður segir var notast við efniseiginleika steypunnar skv. EC2. Þar sem efniseiginleikar steypunnar eru allir ólínulegir er í flestum tilfellum mjög erfitt að greina áhrif hitaþenslu, rýmnunar og skriðs í sundur.

Niðurstöður útreikninga verða kynntar og leitast við að skýra flókið spennuástand steypunnar með einföldum hætti.