

MODUL PRUŽNOSTI BETONU

ELASTIC MODULUS OF CONCRETE

Rudolf Hela, Klára Křížová

Modul pružnosti je jednou ze základních charakteristik betonu definujících jeho pružné deformace a hraje významnou roli při statickém návrhu konstrukcí. Vlivem současných trendů technologie betonu, nabízející širokou variabilitu návrhů složení betonů, dochází ke změnám nejenom pevnostních charakteristik, ale i modulů pružnosti betonu.

The elastic modulus is a basic concrete characteristic which defines its elastic deformations and play a key role in structural design of concrete. Current trends in concrete technology offer a wide range of concrete mix designs, which affect not only the strength but also the elastic modulus of concrete.

Modul pružnosti je základní charakteristikou betonu vypočítající o jeho přetvárných vlastnostech a ovlivňující deformační chování betonových konstrukcí. Je tak nezbytným parametrem pro správné statické modelování chování betonových konstrukcí.

V minulosti byly vytvořeny teoretické modely pro predikci vztahů mezi modulem pružnosti betonu a pevnostními charakteristikami betonů, které umožnily určit modul pružnosti výpočtem bez nutnosti jeho reálného měření. Nejčastěji je statický modul pružnosti vztahován k pevnosti v tlaku, ovšem jak vyplývá z teorie vnitřního systému chování betonu, kde se každý element (kamenivo, tranzitní zóna (interfacial transition zone – ITZ), cementová pasta) vyznačuje značnými rozdíly ve schopnosti přenášet napětí a rozdílným pevnostním chováním, nelze tyto teorie o současných betonech přejímat bez ověření reálných hodnot [1], [2].

Rychlý vývoj technologie betonu udává nové možnosti pro využití pevnostního potenciálu betonu. Dnes je možné bez značných potíží vyrobit betony s pevnostmi kolem 120 N/mm^2 s použitím tradičních materiálů a současných metod návrhu složení betonu. Oproti pevnostem se modul pružnosti však zvyšuje v mnohem menší míře. Např. zatímco pevnost betonu je možné při použití shodných vstupních surovin (zejména typu a maximálního zrna kameniva a druhu cementu) zvýšit z 50 N/mm^2 na 100 N/mm^2 , u modulu pružnosti je navýšení možné pouze o cca 20 %.

Charakteristické vlastnosti betonu

Vlastnosti zatvrdlých betonů lze rozdělit do čtyř skupin na základě jejich společných znaků [3]:

- mechanické – pevnost betonu v tlaku, příčném tahu, tahu za ohybu, prostém tahu a ve smyku,
- deformační – vlastnosti související se změnou objemu vlivem vnějších sil (modul pružnosti, dotvarování betonu) nebo vlivem vnitřních sil (smrštění, nabývání betonu),
- permeabilita – popisuje pohyb média nebo tok energie betonem (vzlínání, nasákavost, vodotěsnost, elektrická vodivost aj.),
- trvanlivost – odolnost proti působení vnějších činitelů (ohnivzdornost, mrazuvzdornost, obrusnost) a odolnost proti působení chemických médií z ovzduší a kapalin.

Mechanické vlastnosti betonu udávají vztah mezi mechanickým namáháním a odporem, kterým materiál účinkům tohoto namáhání vzdoruje. Nejvýznamnějšími mechanickými vlastnostmi betonu je pevnost a odolnost proti přetvoření. V případě namáhání pouze mechanickým namáháním se mechanické vlastnosti materiálu označují jako vlastnosti přetvárné (deformační) nebo jako vlastnosti pevnostní, závislé na charakteru chování materiálu, který si buď zachovává svoji celistvost, nebo se nachází ve fázi porušování. Fyzikálně-mechanické vlastnosti betonu lze v zásadě modifikovat již ve fázi návrhu betonu výběrem vhodných surovin a jeho složením [4].

Deformační vlastnosti betonu – působením mechanického napětí dochází ve struktuře pevných látek ke změnám vzdálenosti mezi jednotlivými částicemi, k jejich vzájemným posunům i k složitým strukturálním změnám, v důsledku čehož mění tuhá tělesa do určité míry tvar i objem. Tyto změny jsou označovány jako přetvoření nebo také deformace. Pro statický výpočet konstrukcí jsou ukazateli přetvárnosti modul pružnosti a modul přetvárnosti. Přetvárnostní charakteristiky betonu se rozdělují následovně [5], [6]:

- statické – projeví se po krátkodobém nebo v krátké době několikrát opakovaném zatížení,
- dynamické – projeví se po mnohokrát opakovaném cyklickém zatížení,
- reologické – projeví se při dlouhodobém zatížení, označují se jako dotvarování.

Velikost deformace materiálu se vyjadřuje formou poměrného přetvoření, které představuje poměr změny rozměru k původnímu rozměru. Beton je materiál přenášející v konstrukci především tlaková napětí, proto je pružné chování nejdůležitější při jeho tlakovém namáhání, kdy dochází ke zmenšení rozměru ve směru působící síly [7]. Přetvoření nosných konstrukcí je charakterizováno velikostí a průběhem poměrných přetvoření materiálu v závislosti na velikosti napětí.

Každá konstrukce je zatěžována vnějším prostředím, které může vyvolat vratné či nevratné změny konstrukce. V případě změn hladiny statického napětí se jedná o změnu tvaru, tedy vyvolání deformací, přičemž je toto napětí měřitelné [8]. V případě betonu se se-