

BETOON

on suur süsinikuladu

Betooni karboniseerumisel seotav CO₂ on siiani kliimaarvutustest väljas ja see moonutab üldpilti. On ilmne, et betoonehitiste keskkonna jalajälje arvutamise meetodikat on vaja muuta, arvestades viimaste teadusuuringutega kinnitust saanud pildi paranemist meid ümbritsevast maailmast. Selle alusel tuleks ümber arvutada ka tsemenditootmise CO₂ kvoodid ning nende hinnad.

ANTS VILL

Levinud väide on olnud kaua, et puit on väga keskkonnasäästlik, betoonikasutus aga ülimalt süsihappegaasi atmosfääri paiskav. Paraku ei ole see tõde, vaid killud erinevatest vaatenurkadest, kinnitavad teadlased. Uurimused näitavad, et betoon seob oma pika elukaare jooksul õhust pea kogu selle süsihappegaasi, mis eraldus betooni lähtematerjali tsemendi valmistamisel.

Puitehitised on elamiseks

mõnusad – aga mis praegusel ajal veel olulisem – ehituspuit on äärmiselt keskkonnahoidlik, sest puud seovad oma kasvu ajal õhust süsihappegaasi, mille salvestavad-akumuleerivad puidus. Aga: CO₂ on puidus hoiul kuni ajani, mil puu langetatakse, puit hakkab lagunema, ehitise tuleb lammutada ning jääkpuit põletatakse, siis naaseb viimane osa akumuleeritud süsihappegaasist atmosfääri, ringlus jätkub. Puidu keskkonnahoidlikuse silmamoendus tekitataksegi sellega, et CO₂ sidumise tõhusust arvutatakse ainult kuni puitehitise kasutusetaapi lõpuni. Puidu edasine käitlemine alates hoone lammutamisest (enamasti kütteks kasutamise teel) jäetakse sellest arvutusest mugavalt välja.

Teeme ikka kaks rehkendust

Näiliselt samasugust arvestusskeemi rakendatakse ka betoonehitiste keskkonnamõõtmise arvutamisel. Võetakse arvesse betooni valmistamiseks vajaliku tsemendi tootmisel eralduva CO₂ kogust (see on tõepoolest suur: koos muude energia-

kuludega üle 600 kg tsemenditonna kohta), kuid betooni puhul selle arvutusega piirdatakse. Betooni kivistumiseks vajaliku süsiniku sidumine atmosfäärist, ehitise või rajatise toimimine keskkonnas, edasised mõjud jäetakse täiesti arvutustest välja. Jäetakse kõrvale pikaajaliste betoonrajatiste ja muude tsemendi sisaldavate materjalide interaktsioon atmosfääriga ehk betooni karboniseerumine, mis kestab kogu betooni aktiivse kasutusea (ja ka pärast seda). See, igale keemialuvilisele ja ka igale ehitusinsenerile ammu teada-tuntud ning rajatiste projekteerimisel ja ekspluatatsioonil vägagi oluline teadmine on seni keskkonnamõõtmistest sootuks kõrvale jäetud.

Tõsiasi on, et betoon hakkab süsihappegaasi siduma juba valmistamise ja paigaldamise hetkest alates ning see protsess kestab kogu betooni kasutusaja. Eriti aktiveerub karboniseerumine aga ehitise elukaare lõpus – kui betoondetailid peenestada, karboniseerub pea kogu purustatud betoon kontaktpinna suurenemise tõttu välisõhuga.

Raudbetoon pole aga ainus materjalivaldkond, kus tsementi kasutatakse. Tuleb rõhutada, et kõik tsemendibaasilised materjalid, nagu tsementmördid, -krohvid ja -värvid, aga ka lubi, mis katavad ehitiste suuri pindu, seovad elukaare jooksul CO₂ veelgi intensiivsemalt kui raudbetoon, kuna tegu on suurte pindade ja õhukeste ning tunduvalt poorsemate kihtidega, millel hea kokkupuude atmosfääriõhuga.

Nii tekib igal teemat lähemalt uurinul põhjendatud küsimus: miks loetakse betooni väga suure CO₂ emissiooniga ehitusmaterjaliks, andes praeguse ametlikult kasutatava arvutusmetoodika alusel üleilmsest 5–7 protsenti süsihappegaasi emissioonist. Teadlaste kinnitusel betooni kui materjali elukaare lõpuks taasseotakse selle olulisima komponendi ehk tsemendi tootmisel õhku paisatud süsihappegaasist vähemalt kolmveerand, soodsama asjakorralduse puhul aga peaaegu saja protsendi ulatuses. Tulemuseks on taas kaltsiumkarbonaat, lubjakivi peamine koostisosa.

Veidi arvutusi avalike andmete põhjal

Justkui ebaoluline, pelgalt aritmeetiline probleem on tegelikult ülimastaapne: betooni tänapäevases mõistes, s.o tsementbetooni on kasutatud juba ligi 200 aastat – lugematu hulk ehitisi-rajatise. Tänapäeval kasutatakse üle maailma igal aastal ligi 30 miljardit tonni betooni. Betoonrajatiste arvestuslik kasutusiga on sada aastat, aga võtame edaspidiste arvutuste kasutusajaks siiski 50 aastat, nagu see on näiteks paneelendamisel või puitmajadel.

Nii on praegu hinnanguliselt aktiivselt karboniseerumas ehk atmosfäärist CO₂ taas sidumas vähemalt 850 miljardit tonni, kui arvestada pikaajalises vaates keskmestatud betoonikasutuseks 15 miljardit tonni aastas. Arvestades tootmismahdade tegelikku, leebelt öeldes eksponentsiaalset kasvu aastate lõikes, siis ilmselt üks triljon (10¹²) tonni betooni.

"Teadlaste kinnitusel betooni kui materjali elukaare lõpuks taasseotakse selle olulisima komponendi ehk tsemendi tootmisel õhku paisatud CO₂-st vähemalt kolmveerand, soodsama asjakorralduse puhul aga peaaegu saja protsendi ulatuses."

Ants Vill

**TTP büroo-
hoone Pirit-
al – näide
kvaliteetsest
betoonehiti-
sest, mis on
võitnud ka
aasta betoon-
ehitise tiitli.**

Keskmine tsemendisaldus betoonis on 14 protsenti, nii on praegu õhust CO₂ siduva, viimase 50 aasta jooksul toodetud tsemendi kogus 1 000 000 000 000 × 0,14 = 140 000 000 000 (1,4 × 10¹¹) tonni. Tsemendi tootmisprotsessi käigus

vallanduvast süsihappegaasist eraldub vähemalt pool, aga enamasti rohkem, kuni 70 protsenti, lubjakivi kuumutamisel toimuva kaltsineerimise protsessi käigus.

Selle pöördprotsessi ehk tsementi sisaldava betooni karboniseerumisel toimub kogu materjali elukaare jooksul vastupidine protsess – CO₂ taassidumine. Kasutusaja lõppemisel kasutusest kõrvaldatud betooni peenestamisel ning taaskasutusse suunamise ajaks on võimalik, et betoon on karboniseerunud sajaprotsendiliselt. Seega – jättes eelnimetatud kuni 70 protsenti taasseotavat CO₂ kõrvale, on tsemendi- ja betooni tootmise ning kasutamise keskkonnakoormus vaid 30 protsendi ringis praegustes arvutustes kasutatavatest numbritest. Paraku on needsamad kasvuhooonegaaside heitearvutuse numbrid aluseks ka tsemendi tootmise CO₂ kvootide ning nende hindade arvutamisel.

Mida ütlevad uurimused?

Nii jääbki keskkonna kanda tege-
likkuses vaid u 30 protsenti seni-
sest betooni "patukoormast" ehk



FOTO: EU

pikemas ajalisel vaates ei seo betoon atmosfäärist (eelnevas arutluses aluseks võetud lühem ehk 50aastane materjali aktiivne kasutusae) 42 000 000 000 tonni CO₂, mis on selle tootmise käigus atmosfääri paisatud.

Näiteks East-Anglia ülikooli (Suurbritannia) uurimus väidab, et maailmas olemas olevad betoon-ehitised seovad ühes aastas miljard tonni Maa atmosfääri süsinikdioksiidist. Analooorse tulemuseni, et 2013. aastal sidusid tsementmaterjalid ligi üks miljard tonni süsihappegaasi Maa atmosfäärist ning sidumise kiirus suureneb pidevalt, jõudis ajakirjas Nature Geoscience artikli (www.nature.com/articles/ngeo2840) 2016. aastal publitseerinud rahvusvaheline teadlaste meeskond, pärast kõigi kättesaadavate andmete analüüsimist.

Need inimitahtest sõltumatult taaseotavad CO₂ kogused on keskkonnamõjude arvutamisel siiani kõrvale jäetud, kasutusel on vaid tsemendi tootmisel vallanduva süsihappegaasi osakaal – kuni seitse protsenti kogu inimtegevusest vallanduva CO₂ kogusest. Nii jääb, vastustundlikult arvestades, senisest arvutuslikust, üliasaastavaks tituleeritud 5–7protsendilise osakaalust inimkonna keskkonda kahjustavas tegevuses alles pärast teaduslikel tõsiasjadel põhinevat korrektuuri “vaid” 1,5–2,4 protsenti. Ehk tuntuvalt vähem kui näiteks ülemaailmne meretransport (2,8 protsenti), mille saaste maksustamiseni jõutakse alles tuleval aastal. Ka see on suur arv, aga kui arvestada, et betoon on inimkonna poolt absoluutselt kõige enam kasutatav ehitusmaterjal üldse, on selles osas vähe kahandamisvõimalusi betooni kasutamise piiramise teel.

Kuidas betooni tehakse ja miks see CO₂ seob?

“Beton on nagu elus materjal,” ütleb sissejuhatuses Eesti betooni püsivuse tingimusi uuriv teadlane, Tallinna Tehnikaülikooli emeriitprofessor **Lembi-Merike Raado**. “Beton kui materjal on pidevas teisenemises kogu oma nii-öelda



elukaare jooksul.” Professor Raado on esimene (ja vist ka ainus) aktiivselt akadeemilises kogukonnas tegutsev teadlane, kes on Eestis juhtinud tähelepanu betooni keskkonna jalajälje praeguse arvutusmetoodika fundamentaalsele vildakusele. “On küll üldiselt teada, et betoon seob keskkonnas süsihappegaasi, aga kui suures hulgas ning kui pika perioodi jooksul see toimub, pole ilmselt otsustajate teadvusesse jõudnud. Või vähemalt – keegi pole seda protsessi CO₂ arvutusmetoodika koostajatele suhtunud teadvustada. Aga see on teema, mida peaks teaduslikult uurima, et oleks võimalik argumenteeritult asuda senise arvutusmetoodika muutmise teele.” Lembi Raado 2011. aastal ajakirjas Ehitaja avaldatud artikkel on siiani jäänud nii ehitus-, betooni- kui ka keskkonnakaitsjate ja -ametnike ringkondadest ilma vastukajata.

Sama saatus tabas ka Kunda Nordic Tsemendi keskkonnanõunik **Kalle Kikase** artiklit Ehitaja 2020. aasta märtsinumbris, kus autor küsis retooriliselt, kas ehitusmaterjalide süsinikujalajälje arvestus lonkab? Toetudes eelretsenseeritud artiklite ja hoonete olelusringi süsinikujalajälje hindamismetoodikate võrdlemise tulemustele, selgitab Kikas, et

ehitusmaterjalide süsinikujalajälje täiustatud arvestus muudaks seniseid seisukohti hoonete keskkonnasäästlikkuse kohta põhimõtteliselt.

Betooni karboniseerumine on kahetise mõjuga

Betooni põhjalikult uurinud ja sel alal pea oma koolkonna rajanud professor Raado tutvustab maailma kasutatavaima ehitusmaterjali “elukäiku” kõige enam mõjutavat protsessi, betooni karboniseerumist: “Võin oma seniste uurimuste põhjal kindlalt väita, et betoon hakkab karboniseeruma ehk atmosfäärist CO₂ siduma juba hetkest, kui betoonisegu on valmistatud ja paigaldatud. See protsess kestab, küll pikkamööda aeglustudes, sõltuvalt tingimustest, kogu betoonrajatise elukaare. Täieliku karboniseerumiseni jõuab betoonimass enamasti siis, kui rajatise lammutamise järel materjal piisavalt peenestatakse. Siis karboniseerub vähem kui 30 mm suurusteks tükkideks peenestatud betoon sajaprotsendiliselt vaid viie aastaga.”

“Karboniseerumise käigus seotakse atmosfäärist lõpuks kogu see tehnoloogilise heitmena vabanev CO₂ kogus, mis betooni valmistamiseks kasutatud tsemendi, õigemini selle valmistamiseks



Julge betooni kasutusega silma paistnud Tondiraba jäähall valiti aasta betoonehitiseks 2014.

FOTO: TIIT VEERMÄE

"Betooni karboniseerumine on kahetise mõjuga: betooni vastupidavust see ajapikku vähendab, samas aga seob see protsess atmosfäärist peaaegu kogu süsihappegaasi, mis betooni tootmiseks kasutatava klinkri valmistamisel atmosfääri eraldus."

Lembi-Merike Raado

kasutatava klinkri tootmisel õhku paisati. Täpsemalt: karboniseerumine on pöördprotsess lubjakivi kaltsineerimisele, protsessile, mille käigus saadaksegi klinker. Tsemendi reageerimisel veega betooniseguse moodustub betoonis ülimalt aluseline keskkond, mis loob aluse raudbetooni puhul terassarruse kaitseks korrosiooni eest. Karboniseerumise käigus seob betoon õhust süsihappegaasi, reaktsiooni käigus toimub osaliselt lubjakivi ehk

kaltsiumkarbonaadi taasteke, keskkond muutub tugevalt neutraalsuse suunas."

"Üks betoonis aja jooksul toimuv protsess on karboniseerumise käigus betooni painde- ja tõmbetugevuse kahanemine, mis on algseltki, võrreldes suure survealuvusega, suhteliselt väike. Selle kompenseerimiseks kasutatakse kandekonstruktsioonides terassarrust – selleks ongi raudbetoon leiutatud. Samas peab rõhutama, et karboniseerumine betooni surve- tugevust ehk survele vastupidavust ka väga pika aja jooksul nimetamisväärselt ei kahanda.

Paljud on kuulnud, et betoonil on omadus aja jooksul, karboniseerumise käigus, "parandada" sellesse tekkinud pragusid-mõrasid. See on õige, kuid ainult alla 50mikromeetriste (μm) pragude puhul. Karboniseerumine ei vähenda ka suurema läbimõõduga kapillaaride ($> 10 \text{ nm}$) hulka, mille kaudu toimub vee migratsioon. Suuremad praod jäävad sellest protsessist kõrvale, need aitavad hoopis kaasa edasisele karboniseerumisele. Nii pääseb materjali sisse üha enam süsihappegaasi ja ka vett."

"Uurimused, ka minu tehtud uurimused, näitavad, et kiiremini karboniseeruvad väiksema surve- tugevusega betoonid. Väga palju sõltub ka keskkonnast. Kõige kiirem on protsess süsihappegaasirikastes, inimeste poolt kasutatavates ruumides, väliseintel on protsess aeglasem, veel aeglasem on see pinnasega kaetud konstruktsioonides või vees olevates elementides. Karboniseerumine on pea olematu pinda CO_2 ja vee ligipääsu eest kaitsva pinnakattega betoonelementide puhul. Olgu see siis väli- või ka sisetingimustes.

Rajatise elukaare jooksul jõuab "soodsatel" tingimustel karboniseerumine kuni 50 mm ehk viie sentimeetri sügavusele ehk enamasti ka sarruseni, näitavad näidiste uurimised. Ja nagu öeldud, kui kasutusest võetud betoonelementid purustada ning võimaldada sellele materjalile viis aastat kokkupuudet õhuga, karboniseerub betoon täies ulatuses."

Selle teema kokkuvõtteks ütleb professor Raado: "Betooni karboniseerumine on kahetise mõjuga: betooni vastupidavust see ajapikku vähendab, samas aga seob see protsess atmosfäärist peaaegu kogu süsihappegaasi, mis betooni tootmiseks kasutatava klinkri valmistamisel atmosfääri eraldus."

Professor Lembi Raado lisab ka oma vaate praegusele arhitektide ja tellijate poolt eelistatud lahendusele – kasutada hoonete-rajatiste puhul nii välis- kui ka sisepindade puhul keskkonnale täiesti avatud, viimistlemata ehk "haljast" betooni: "See ei ole minu arvates sugugi õige tee. Betoon on nii-öelda elav ehk pidevas muutumises olev materjal. Pidev kokkupuude õhuga kahjustab nii nende pindade väljanägemist, aga – mis veelgi olulisem – nende pikemaajalist vastupidavust. Mulle kui betooni omadusi hästi tundvale teadlasele on sellised lahendused, kus betoon on jäetud kaitseta, valusad vaadata. Nende rajatiste elukaar jääb tunduvalt lühemaks, kui nende püstitamisel tehtud töö ja nähtud vaev väärt oleks."

Millised on betooni seotavad CO_2 kogused?

Maailmas enim kasutatud ehitusmaterjali ehk betooni omadus süsihappegaasi siduda kui fakt on teadlastele ammu teada, samas on selle nähtuse ulatust siiani vähe teadvustatud.

Teadlaskond on seda käsnaefektiks kutsuvat protsessi hakanud tõsisemalt uurima alles viimastel kümnenditel, uuemad mõõtmised näitavad, et efekt ehk betooni poolt CO_2 sidumise võime on globaalsete kliimaprobleemide valguses täiesti arvestatava suurusega, et mitte öelda suure mõjuga tegur. Paraku pole veel seda nähtust kasvuhoo- negaaside seire ning ehitiste süsinikujalajälje hindamisel, eriti aga betoonikasutuse alal ka CO_2 erihte arvutamisel arvesse võetud, seades nii terve majandusharu ebavõrdsesse olukorda ning ka üha süvenevate kliimamuutuste foonil teenimatult ebasoodsasse valgusesse.

Erinevate uurimiskeskuste ja meetodikatega läbi viidud uuringud annavad erinevaid hinnanguid betooni õhust CO₂ sidumisvõimele. Ka on arvutusi tehtud betoonrajatiste erineva elukaare pikkuse juures (enamasti kas 50 või 70, isegi 100 aastat). Samuti on paljudes varasemates uurimustes jäetud kõrvale oluline osa betooni kui materjali enda elukaarest, nimelt rajatise lammutamisel materjali taaskasutusse võtmise positiivne mõju. Põhjalikumad uuringud näitavad, et lammutamise järel betooni sidumisvõime, eriti materjali peenestamise järel, kasvab ning soodsatel tingimustel jõuab karboniseerumisprotsess (koos CO₂ sidumisega) maksimaalse võimaliku määraneni ehk kogu betooni täieliku karboniseerumiseni.

Betoon kui CO₂ hästi siduv ehitusmaterjal

Valitsustevahelise kliimamuutuste paneeli IPCC juhtivteadlase professor **Dabo Guani** sõnul on olemasolevad betoonehitised suured ja unustatud süsinikusalvestajad, mida pole seni üldse arvestatud kasvuhoonegaaside inventuurides ega süsinikdioksiidi puudutavates arvutustes.

Põhjus, miks see valdkond on alauuritud, on see, et enne kliimaprobleemide aktualiseerumist huvitus kogu ehitussektor eelkõige ehitusmaterjalide tugevuse ning püsivuse suurendamisest, keskkonda saastavate emissioonide probleem oli jäetud tagaplaanile. Nii pole selles valdkonnas väga palju uuringuid tehtud, sest avalik huvi on tagasihoidlik, kohati lausa puuduv, sellel foonil pole olnud ka eriti tõsiseltvõetavaid võimalusi nendele uuringutele finantseerimiskatet leida.

Eesti ei ole selles osas paraku mingi erand, ehkki meil on pikk tsemenditootmise traditsioon ning terve hulk tõsiseid ehitusmaterjalide, sealhulgas betooni uurimisega tegelevaid teadlasi. Nii on kujunenud olukord, kus korrutatakse väidet, et betoonitootmine annab üleilmsest kasvuhoonegaaside

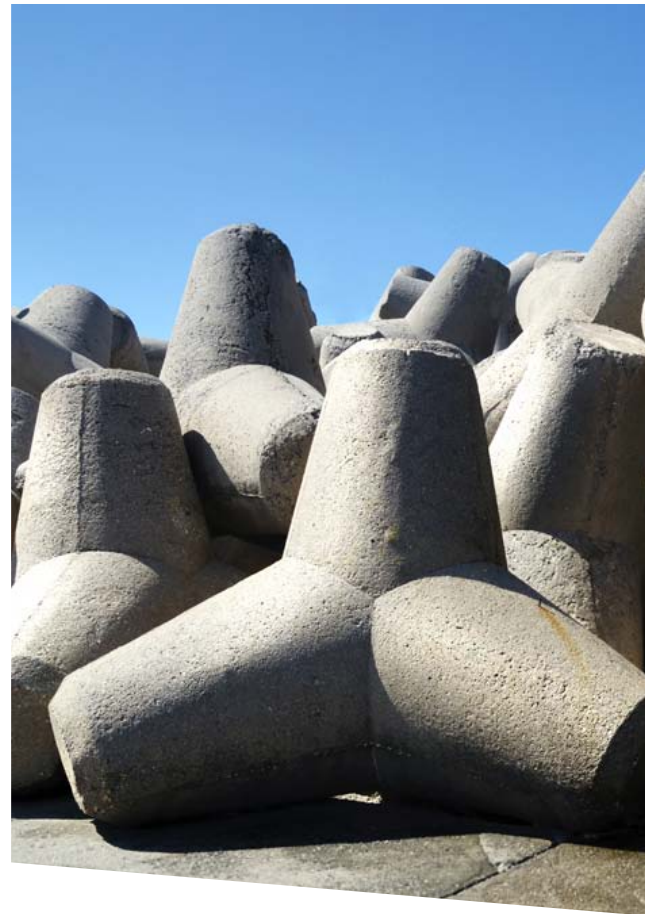
emissioonist 5–7 protsenti, aga sellele paraku ei lisandu korduvate uuringutega kinnitatud teaduslik teadmine, et ülemaailmselt massiliselt kasutatav betoon seob ka massilises koguses süsihappegaasi.

Andmeid nn käsnaefekti kohta on ka avalikult palju saadaval, kuid nende viimine otsustajate vaatevälja, n-ö betooni keskkonnakahjulikkuse paradigma muutmine seisab alles ees. Probleem on aga mastaapne ja selle püsimine tuleneb kliimapoliitika kujundajate teadmiste pealiskaudsusest inseneeria valdkonnas ning vähesest võimekusest seda usuküsimust muuta, arvestades tegelikkust. Nii on betoon kuulutatud suureks saastajaks ja selle tootmisele, ühtlasi kasutamisele rakendatakse juba ammu üha kasvavaid keskkonnakaitsele suunatud koormisi.

Kui palju betooni on praegu kasutusel?

Tsementi on viimastel aastatel ülemaailmselt toodetud üle nelja miljardi tonni, sellega kaasnev arvutuslik CO₂ emissioon on hinnanguliselt kolm miljardit tonni, mahud kasvavad iga aastaga. Zürichi Polütehnilises Instituudis tehtud uuringute põhjal on tööstusrevolutsiooni algusest tsemendist valmistatud betooni valatud kokku kõikvõimalikeks ehitisteks vähemalt 900 miljardit tonni. Nende hinnangul oleks see ekvivalentne Iraagi-suuruse riigi katmisega ühe meetri paksuse betoonikihiga, meile lähedasemalt: kaks Valgevenet pluss üks Moldova, kui ruutkilomeetrid kokku arvatada.

Üldiselt on praegu betooni CO₂ emissiooni arvutusel aluseks hinnang: 1 tonn tsementi, 1 tonn CO₂ emissiooni, see sisaldab siis ka kõiki järgneva (ja ka eelneva) energiakulusid betooni lähtematerjalide valmistamisel, hankimisel, töötlemisel ning transpordil. Kui arvestada betooni keskmiseks klinkrisisalduseks 14 protsenti ning ühe tonni klinkri tootmisel vabaneb hinnanguliselt 520 kilo ehk 0,52 tonni CO₂, on (arvestamata klinkri tootmisel, töötlemisel



"Tsementi on viimastel aastatel ülemaailmselt toodetud üle nelja miljardi tonni, sellega kaasnev arvutuslik CO₂ emissioon on hinnanguliselt kolm miljardit tonni, mahud kasvavad iga aastaga."

ning transpordil kasutatud kütustest eralduvaid kasvuhoonegaase) klinkri tootmisel kasutatava kaltseerimisprotsessi käigus paiskunud atmosfääri (900 miljardit × 0,14 × 0,52 tonni) 65,5 miljardit tonni CO₂.

Nii jääbki tegelikult betooni keskkonnamuutuseks pikaajalises vaates vaid selle koostisosade ja materjali enda edasisele töötlemisele transpordil kulutatud energiaga seotud kasvuhoonegaasid. Seda muidugi juhul, kui betooni karbo-



niseerumisprotsess saab toimuda. Erinevatel arvestustel neelab betoon (õigemini selles sisalduv tsement) klinkri tootmisel materjali kaltsineerimisel eraldunud CO₂-st karboniseerumise käigus 50–75–100 protsenti.

Karboniseerumine on väga tagasihoidlik kaetud pindadel, ka näiteks pinnases või vee all olevate pindade puhul. Kuid ka sellisel puhul võib sidumisprotsess olla pea sajaprotsendiline, kui ehitise elukaare lõppedes betoon peenestatakse või võetakse korduvkasutusse. Karboniseerumine kui protsess pole vaieldav, kuid seni pole seda keskkonnamõju vaates arvestatud.

Keerulisem on välja arvestada, kui suur osa sellest 900 miljardist betoonitonnist on praegu kasutusel rajatistes, kui palju möödunud aegadel valatud betoonist on võetud korduvkasutusse, kui palju aga maetud tarbetuna maa sisse ega osale aktiivselt karboniseerumisprotsessis. Kindel on aga see, et seda on üha kasvanud tootmismahdade juures vähemalt 2/3, võimalik et isegi ¾ kogu uuel ajal toodetud betoonist, seega on see ühtlasi potentsiaalne osakaal ka praegu kasutuses oleva betooni karboniseerimisvõimest.

Uuringute põhjal on tööstusrevolutsiooni algusest tsemendist valmistatud betooni valatud kokku kõikvõimalikeks ehitisteks vähemalt 900 miljardit tonni.

FOTO: SHUTTERSTOCK

Korduvkasutus ja õiglane arvestamine

Soomes mõni aasta tagasi projekti “CANEMURE” käigus läbi viidud uurimuses “CO₂crete Solution” selgitati välja, et igal aastal seotakse ehitiste betooni karboniseerumisega kümme protsenti sealse tsemenditööstuse emissioonist, praeguseks on sel moel atmosfäärist seotud juba Soome betoonehituse sektoris püsivalt üle 5,2 megatonni (5 200 000 t) CO₂.

Professor Raado kirjutas juba 2011. aastal avaldatud artiklis: “Kindlasti on ka Eestis perspektiivne oma elutsükli lõpetanud ja sihipärasest kasutamist mitteleidvate betoonehitiste lammutamisjärgne purustamine taaskasutamise otstarbel. Siiani puudub statistiline ülevaade lammutatud betoonehitistest järele jääva betooni kohta. Lammutatud raudbetoonist metalli eraldamine ja suure tugevuse ning abrasiivsusega materjali purustamine on tehnoloogiliselt teostatav, kuid ka energiamahukas protsess. Samal ajal ei võimalda meid ümbritsev loodus lõputult ladustada inimtegevusest tekkivaid jäätmeid ja mõistlikud lahendid nende probleemide lahendamiseks väärivad kaalumist.”

Arvestades, et Eestis kasutatakse aastast umbes 0,5 miljonit tonni tsementi, annaks CO₂ emissioonide ning kodumaise betooni kasutamises taasseotava süsihappegaasi suhte väljatoomine tsemenditööstuse ja betoonist ehitamise keskkonnamõjutustest tegelikkusest parema pildi.

Professor toob esile Nordic Innovation Centre'i 2005. aastal Põhjamaade osas tehtud uurimistöö järeldused: peenestatud betooni sidumisvõime on 2–2,5 korda suurem kui rajatistes kasutusel oleval betoonil. Uurimuses toodud arvutuses on kasutatud 1950. aastal Taanis püstitatud betoonehitise arvutuslikku elukaart: karboniseerumine toimub ehitise 70aastase elukaare jooksul umbes 31 protsendi ulatuses, lammutusjärgne karboniseerumine

viib selle 2050. aastaks tasemele 79 protsenti algselt õhku paisatud CO₂ kogusest.

Järeldusi meie Eestis

Kindlasti on endiselt aktuaalne betoonisektori CO₂ heitmete tehnoloogiline vähendamine, kuid samavõrd oluline on betooni poolt olelusringi vältel seotavate CO₂ koguste igakülgse arvesse võtmise ning sidumisvõimekuste suurendamisele suunatud tehnoloogiate (betooni peenestamine, korduvkasutus) kasutusele võtmine. Kuid lisaks sellele ka betooni kui kõige kasutatavama ehitusmaterjali kasvuhooonegaaside koguheitmete arvutamisel esinevatest vigadest vabanemine ja meetodiliste puuduste kõrvaldamine.

On ilmne, et betoonehitiste CO₂ keskkonna jalajälje arvutamise meetodikat on vaja muuta, arvestades viimaste teadusuuringutega kinnitust saanud pildi paranemist meid ümbritsevast maailmast. Selle alusel tuleb ümber arvutada ka tsemenditööstuse CO₂ kvoodid ning nende hinnad. Nii kaoks majandusest senine suur turumoonutus, mille üheks ilminguks oli ka näiteks Eesti 200aastase ajalooga betoonikasutuses suure ja ilmselt kokkuvõttes Eestile majanduslikult mittekasuliku ja välistoorainest sõltuvust suurendava pöörde – Kundas tsemendiklinkri tootmise peatamine 2020. aastal.

Ehitussektori selle osa (peamise osa), mis kasutab betooni, praegune ebaproportsionaalne koormamine põhjendamatult kõrgeks arvatud keskkonnatasudega hoiab liiga kõrgel betoonehitiste hinnataset, kahandab sektori tootlikkust ning konkurentsivõimet ja kokkuvõttes koormab nii kogu majandust – seda nii ülemaailmselt kui ka Eestis. Eriti olukorras, kus globaalselt mitu tsemendi hiigeltootjat riiki ei rakenda oma toodete puhul üldse mingeid CO₂ kvote ega keskkonna- ja tervisekaitse nõuete täitmiseks Euroopa Liiduga võrreldavat hinnastamist. **E**