

GEOTEKNIK ur ett livscykelperspektiv

Genom att tillämpa livscykelberäkningar där man utvärderar hela konstruktionens livscykel, från råmaterialutvinning till slutskedet, kan ett mer hållbart val av en konstruktions utformning göras. I syfte att skapa förutsättningar för att minska både konstruktionens miljöpåverkan och kostnader utvecklar man nu på avdelningen för Jord- och bergmekanik på KTH just sådana beräkningsmetoder. Här skriver forskarna på KTH om det pågående projektet som sker med finansiering från Sven Tyréns Stiftelse och Trafikverket.

TEXT: IDA SAMUELSSON, JOHAN SPROSS, ULF WIKLUND & STEFAN LARSSON

G EOTEKNIKENS ARBETE ÄR VIKTIGT FÖR HÅLLBARHETEN

Dagens praktiserande geotekniker har möjligheten att inkludera hållbarhetsaspekten i sitt dagliga arbete. Traditionellt har fokus legat på att endast undvika överdimensionering av geotekniska konstruktioner, eftersom investeringskostnaden annars blir onödigt stor. Möjlighet att få hållbarare geotekniska konstruktioner finns om man använder ett livscykelperspektiv i hållbarhetsarbetet, där inte bara investeringskedet, utan även

användning och slutskedet inkluderas. Förutom kostnader är miljöpåverkan såsom klimatförändringar faktorer som geoteknikern måste hantera. Exempelvis sker utsläpp av växthusgaser såsom koldioxid och metan i alla skeden av en konstruktions livstid. I Sverige står bygg- och fastighetssektorn för över 20 procent av de totala utsläppen av växthusgaser.

En minskning av utsläppen behövs för att Sveriges miljömål ska uppnås, där ett av målen är inga nettoutsläpp av växthusgaser senast år 2045. Inom byggprojekt är geotekniska konstruktioner nödvändiga vid bland annat grundläggning, markförstärkning

och släntstabilisering, vilka alla har en påverkan på klimatet under sin livscykel.

ETT INTEGRERAT HÅLLBARHETSARBETE INOM GEOTEKNIK

I ett doktorandprojekt på KTH Jord- och bergmekanik arbetar vi nu med livscykelanalys (LCA) och livscykelkostnadsanalys (LCCA) för geotekniska konstruktioner. LCA och LCCA är etablerade metoder för att utvärdera en produkts miljöpåverkan respektive livscykelkostnad (LCC). Doktorandprojektet syftar till att ta fram ett tillvägagångssätt för att integrera LCA och LCCA i den geotekniska designprocessen, vilket

→ ska förenkla hållbarhetsarbetet för geotekniska arbeten och konstruktioner.

METOD ATT ANALYSERA MILJÖPÅVERKAN

Livscykelanalysen (LCA) kvantifierar en produkts eller systems miljöpåverkan under dess livscykel. Metoden LCA finns beskriven i ISO-standarder, som definierar vad som ingår i metoden^{1,2}. En LCA görs i flera faser, som inkluderar definition av mål och omfattning, inventeringsanalys, miljöpåverkansbedömning och tolkning (Figur 1).

För byggnadsverk, inklusive geotekniska konstruktioner, finns en europeisk standard³ med produktspecifika regler som definierar livscykelkedena för byggnadsverk. En livscykel delas här in i olika skeden: produkt, byggproduktion, användning och slutskede. Trafikverket har tagit fram en vägledning över hur LCA kan utföras i transportinfrastrukturprojekt. För byggnader har Boverket från och med 1 januari 2022 krav på att klimatdeklaration ska utföras vid uppförande av nya byggnader, men tyvärr ingår inte byggnadens grundläggning i det kravet. Vi ser här ett behov av en systematisk metodik för hur LCA kan integreras i den geotekniska designprocessen, för att underlätta geoteknikerns arbete, både för infrastruktur och vid husbyggnad.

METOD ATT ANALYSERA LIVSCYKELKOSTNAD

Livscykelkostnadsanalys (LCCA) är en metod för att kvantifiera en produkts eller systems monetära kostnad under dess livscykel. Den utförs ofta i syfte att jämföra olika alternativa utformningar på en konstruktion. Det vanligaste är då att man i analysen endast beaktar det som skiljer de olika alternativen åt. För transportinfrastrukturprojekt har Trafikverket tagit fram en vägledning av hur LCCA kan utföras vid utvärdering av livscykelkostnaden (LCC). Boverket har dock ingen motsvarande vägledning för grundläggning av byggnader. Livscykelkedena i en LCCA utgörs oftast av investeringskostnader och drift- och underhållskostnader. Dock saknas även här en vägledning för hur geoteknikern kan integrera beräkningen i sitt designarbete, för att kunna reducera LCC för geotekniska konstruktioner.

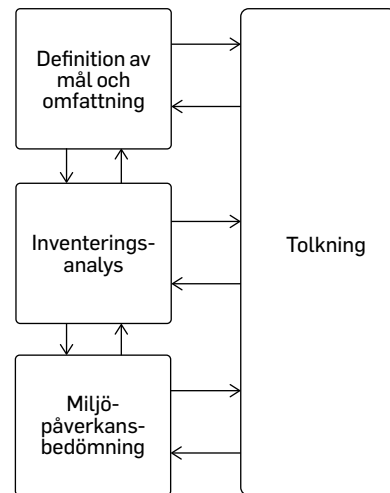
HUR SER FORSKNINGSLÄGET UT INTERNATIONELLT?

Inom doktorandprojektet utfördes en genomgång av forskningsläget internationellt inom LCA och LCCA för geotekniska konstruktioner⁴. Litteraturgenomgången inkluderade artiklar som publicerats i vetenskapliga tidskrifter och som presenterats på internationella konferenser kopplade till hållbarhet, LCA och LCCA inom geo-

teknik. Forskningsområdet är väldigt nytt och den äldsta artikeln som påträffades publicerades år 1987. Vi noterar här att den första versionen av ISO 140401 för livscykelbedömningar publicerades så sent som 1997. Fram till och med år 2022 har ett 60-tal publicerade artiklar påträffats, varav ungefär hälften faktiskt är från 2020 och framåt. En stor del av konstruktionstyperna som utvärderas i artiklarna avser jordförstärkning och stödmurar/släntstabilisering. Detta beror sannolikt på att vägingenjörer och brokonstruktörer kommit längre i arbetet med att implementera LCA och LCCA i sitt arbete. Jordförstärkning används ofta vid väg- och järnvägsbyggnation när undergrunden inte klarar den ökade belastningen från banken. Stödmurar och släntstabilisering utförs ofta kring broar där utrymmesbrist omöjliggör flacka slänter. För grundläggning av byggnader har endast ett fåtal artiklar som inkluderar LCA och LCCA påträffats och då enbart för pålning. Helt klart är att antalet studier inom transportinfrastruktur och husbyggnation är få, så det finns ett stort behov av fortsatt forskning och branschutveckling.

LIVSCYKELSKEDEN SOM IDAG INKLUDERAS I ANALYSERNA

För att utvärdera en geoteknisk konstruktions totala miljöpåverkan och kostnad



Figur 1. Struktur för livscykelanalys¹.

behöver hela dess livscykel studeras. I de publicerade artiklarna inkluderas dock oftast endast produkt- och byggproduktionsskedet, medan man bortser från användarskedet och slutskedet. Hos Trafikverket är det oftast investeringsskedet, som motsvarar produkt- och produktionskedet, som det är kravställt att man ska redovisa livscykelberäkningar för i större infrastrukturprojekt. En förklaring till att användarskedet och slutskedet exkluderas



För att utvärdera en geoteknisk konstruktions totala miljöpåverkan och kostnad behöver hela dess livscykel studeras.

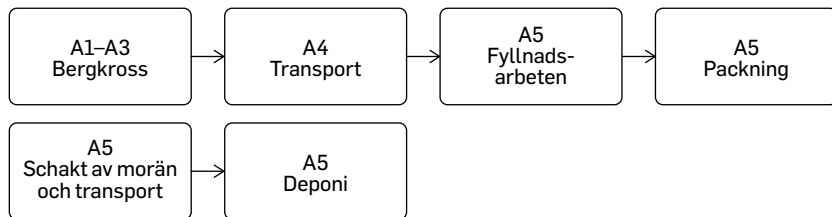
kan vara svårigheterna att uppskatta framtida behov av drift och underhåll. För geotekniska konstruktioner kan exempelvis orsaken till underhållsbehovet vara svårbedömd och därför svår att prognostisera. En annan förklaring är att geotekniska konstruktioner i regel har en lång livslängd. Hur vi i samhället ska hantera slutskedet på ett mer hållbart sätt är emellertid under snabb utveckling, exempelvis genom ökad återanvändning och återvinning av till exempel sponter. Cirkulärt byggande där resursuttag och avfall minimeras är också på stark frammarsch.

MILJÖPÅVERKAN ÄR INTE BARA KLIMAT

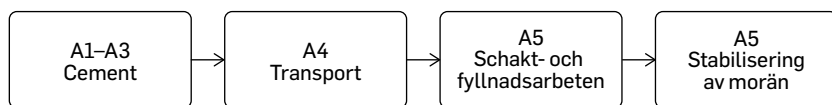
Hållbarhet innefattar de tre delarna miljö, ekonomi och social hållbarhet. För miljödelen är det vanligt att man enbart tänker på klimatpåverkan, men miljö innefattar mycket mer än så. Inom LCA finns ett flertal så kallade miljöpåverkanskategorier som kan beaktas. Exempel på sådana kategorier som kan vara särskilt relevanta för det geotekniska området är klimatpåverkan som mäts i koldioxidkvivalenter (CO_2eq), försurning som mäts i svaveldioxidkvivalenter (SO_2eq) och övergödning som mäts i fosforekvivalenter (Peq). För geotekniskt byggande är användningen av fossila bränslen en stor källa till miljöpåverkan i alla dessa tre kategorier. Andra kategorier att beakta kan vara resursnyttjande, såsom vattenanvändning (m^3) orsakad av artificiell infiltration, eller landanvändningen (m^2) i stora infrastrukturprojekt. I publicerad forskning utvärderas ofta enbart kategorierna klimatpåverkan och energianvändning, vilket också gäller Trafikverkets och SGIs beräkningsverktyg Klimatkalkyl, som är de svenska verktyg som är mest utvecklade för geotekniska konstruktioner. I utvärderingen av resultaten för val av slutlig geoteknisk design vägs de olika miljöpåverkanskategorierna mot varandra, där det är beställaren av byggprojektet som bestämmer viktningen i analysen. Beställaren har därför en stor potential att påverka vilka miljöpåverkanskategorier som främst ska beaktas och i förlängningen, var fokus ska ligga i arbetet att minska miljöpåverkan av byggprojekt. Här har beställarorganisationerna ett viktigt jobb framför sig.

FALLSTUDIE GER NYA INSIKTER

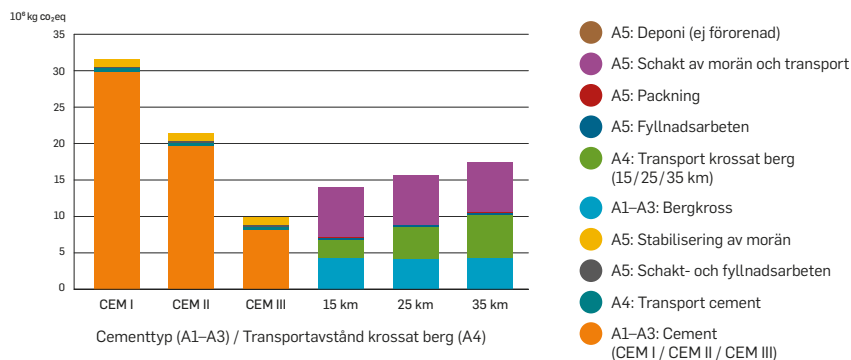
En jämförande LCA och LCCA har utförts för byggnation av en järnvägsbank för höghastighetsjärnväg inom projekt Nya Stambanor på sträckan Hässleholm-Lund⁵. Projektet är i ett tidigt skede. Eftersom mängden berg är begränsad längs sträckan, finns inget överskott som kan användas till uppbyggnad av järnvägsbanken. Men det finns



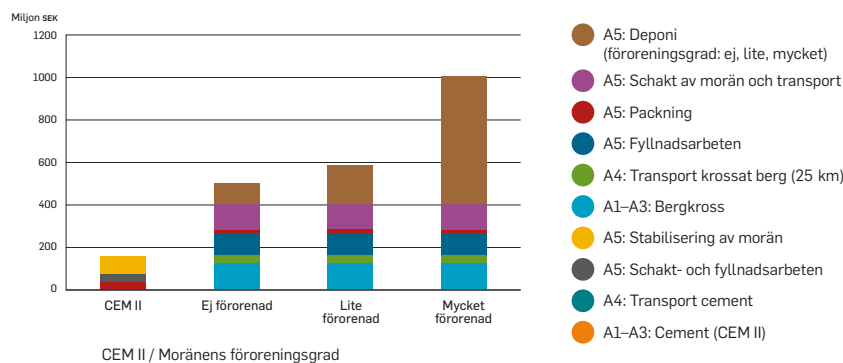
Figur 2. Processen för metoden med bergkross. Den översta raden visar momenten vid bankens uppbyggnad och den nedre raden visar hanteringen av överskottet av morän⁵.



Figur 3. Processen för metoden med cementstabiliserad morän⁵.



Figur 4. Resultatet från beräkningen av klimatpåverkan⁵.



Figur 5. Resultatet från beräkningen av kostnaderna⁵.

ett överskott av sandig morän som skulle kunna användas istället om den stabiliseras med exempelvis cement. Som en del av en större utredning av metoden att använda cementstabiliserad morän i järnvägsbankar, utförde Tyréns i ett tidigt skede av projektet en LCA och LCCA av produkt- och byggproduktionskedet, där metoden jämfördes med en traditionell uppfyllnad med bergkross. Bergkrossen skulle i så fall i sin

tur behöva hämtas från en bergtäkt och överskottet på morän behöva fraktas bort från projektet. Figur 2 och Figur 3 visar aktiviteterna i byggprojektet om man använder bergkross respektive cementstabiliserad morän till banken.

SVÅRT ATT VÄGA KLIMAT MOT KOSTNAD

I analysen utvärderades klimatpåverkan och kostnader för de två metoderna. För



Inom byggprojekt är geotekniska konstruktioner nödvändiga vid bland annat grundläggning, markförstärkning och släntstabilisering, vilka alla har en påverkan på klimatet under sin livscykel.

→ den cementstabiliserade moränen varierades cementtypen för klimatberäkningen mellan CEM I där ingen inblandning av alternativa bindemedel görs, och CEM II och CEM III, där CEM III har den största inblandningen av masugnsslagg. För bergkrossmetoden varierades transportavståndet vid klimatberäkningen och föroreningsgraden vid kostnadsberäkningen. Resultatet (Figur 4) visar att cementstabiliserad morän med CEM I och II har större klimatpåverkan än bergkrossmetoden för de transportavstånd som analyserades. Lägst klimatpåverkan har cementstabiliserad morän med CEM III. Den cementtypen används dock vanligtvis inte i Sverige. Resultatet från kostnadsberäkningen (Figur 5) visar att bergkrossmetoden, oavsett föroreningsgraden av moränen som studerades, har en högre kostnad än cementstabiliserad morän med CEM II. Vi noterar att resultaten från beräkningen av klimatpåverkan och kostnader inte ger beslutsfattaren något lätt val, då metoden med lägst kostnad inte har lägst klimatpåverkan. Ett sätt att hantera detta är att göra en viktning baserat på vilka aspekter inom hållbarhet som är viktiga i det aktuella byggprojektet.

FRAMTIDSUTBLICK

Intresset för hållbarhetsberäkningar inklusive LCA och LCCA ökar i byggsektorn både hos såväl byggherrar som konsulter och entreprenörer. I den kommande reviderade Eurokod 7 Dimensionering av geokonstruktioner, kommer ett avsnitt om design för långsiktig hållbarhet sannolikt inkludera.

Trafikverket och Boverkets kravställning har en stor del i att LCA och LCCA utförs allt oftare i projekt idag. Dock behöver praktiserande geotekniker stöd i att integrera LCA och LCCA i sitt designarbete, så att arbetsprocessen förenklas. En metod för att utvärdera resultaten från LCA och LCCA behöver tas fram, så att ekonomiskt rimliga och samtidigt hållbara geotekniska konstruktioner kan väljas i det aktuella projektet. För att öka trovärdigheten i bedömningen av resultaten behövs fortsatt forskning, särskilt avseende hur osäkerheter i både indata och framtida prognoser av användning och slutskedet ska beaktas. Det

Referenser

- 1 International Organization for Standardization (2006) ISO 14040:2006 –Environmental management–Life cycle assessment–Principles and framework. Genève.
- 2 International Organization for Standardization (2006) ISO 14044:2006 –Environmental management–Life cycle assessment–Requirements and guidelines. Genève.
- 3 European Committee for Standardization (CEN) (2021) EN 15804:2012+A2:2019/AC:2021 Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products. Bryssel.
- 4 Samuelsson I, Larsson S and Spross J (2021) Life cycle assessment and life cycle cost analysis for geotechnical engineering: review and research gaps. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 710(1): 012031. IOP Publishing.
- 5 Samuelsson I, Spross J and Larsson S (2022) Assessment of climate impact and costs comparing two railway embankment fill methods. In The 5th International Conference on New Developments in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. In press.

kommer att vara vårt huvudfokus de kommande åren.

FÖRFATTARNAS TACK

Forskningen bakom denna artikel har utförts med finansiellt stöd av Trafikverket genom *Branschsamverkan I Grunden* (BIG) och *Sven Tyréns Stiftelse*. ■

IDA SAMUELSSON

KTH Jord- och bergmekanik och Tyréns Sverige AB



JOHAN SPROSS

KTH Jord- och bergmekanik



ULF WIKLUND

Tyréns Sverige AB



STEFAN LARSSON

KTH Jord- och bergmekanik

