

VERTIKALDRÄNERING I KOMBINATION MED ÖVERLAST – EN HÅLLBAR FÖRSTÄRKNINGSMETOD FÖR LERA

Lisa Johansson^A, Magnus Palm^A, Rasmus Müller^A, Anders Prästings^A

^ATyréns Sverige AB

SAMMANFATTNING

Vid grundläggning av väg- och järnvägsanläggningar i områden med finkornig jord med låg permeabilitet (mestadels lerjordar) används traditionellt förstärkningsmetoder som kalk- och cementpelare (KC-pelare) och bankpålning. Dessa metoder innebär dock en betydande påverkan både ur kostnad- och miljösynpunkt. I detta arbete lyfts därför vertikaldränering i kombination med överlast fram som en förstärkningsåtgärd med en lägre klimatpåverkan och en lägre kostnad. Metoden kombineras ofta med tryckbankar för att säkerställa stabiliteten. En jämförelse av kostnader och klimatpåverkan mellan KC-pelarförstärkning och vertikaldräner i kombination med överlast och tryckbankar har tagits fram, baserat på underlag från ett pågående uppdrag. Genom att jämföra med mer etablerade lösningar lyfts både kostnads- och miljömässiga fördelar med vertikaldränering i kombination med överlast fram.

Resultaten från jämförelsen visar tydliga skillnader både i kostnad och klimatpåverkan. Vertikaldräner är ett avsevärt mer kostnads- och klimateffektivt alternativ än KC-pelare. Även om tillgången på massor påverkar både kostnad och klimatpåverkan kvarstår skillnaden, då material och installation av KC-pelare utgör en stor del av den totala kostnaden och klimatpåverkan.

SUMMARY

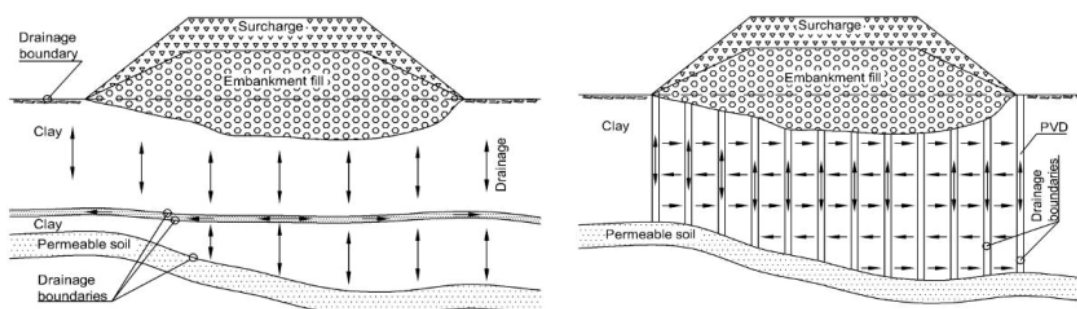
When constructing roads and railways in areas with fine-grained soils with low permeability (predominantly clays), traditional ground improvement methods such as lime–cement columns and embankment piling are commonly used. However, these methods entail substantial cost and environmental impact. This study therefore highlights vertical drainage combined with preload as a ground improvement technique offering both lower climate impact and reduced cost. The method is often used together with pressure berm to ensure stability.

A comparison of cost and climate impact between lime–cement columns reinforcement and vertical drains combined with preload and pressure berms was developed, based on data from an ongoing project. By comparing to more established solutions, the analysis illustrates the economic and environmental benefits of using vertical drains.

The results show clear differences in both cost and climate impact. Vertical drains represent a significantly more cost-efficient and climate-efficient alternative than lime–cement columns. Although the availability of suitable fill materials affects both cost and climate impact, the difference remains pronounced, as the material consumption and installation of lime–cement columns constitute a major share of their total cost and climate footprint.

1 INLEDNING

Vertikaldränering i kombination med överlast är ofta ett både kostnadseffektivt och klimatvänligt alternativ till andra förstärkningsmetoder. Metoden kombineras ofta med tryckbankar för att säkerställa att tillräcklig stabilitet erhålls och tillämpas främst där bankfyllnad ska utföras på finkornig jord med låg permeabilitet (mestadels lerjordar). När dessa jordar belastas uppkommer sättningar som utvecklas under lång tid, ibland med betydande krypsättningar. Syftet med att installera vertikaldräner är att påskynda sättningsförloppet och på så vis ta ut sättningarna under byggskedet genom att minska dräneringsvägarna i lera, se Figur 1 (från Müller, 2010). Installation av vertikaldräner kan korta konsolideringstiden från flera 10-tals år till ett antal månader.



Figur 1. Skiss som beskriver dräneringsvägarna i lera; a) utan vertikaldräner; och b) med vertikaldräner. Surcharge=temporär överlast; drainage boundary=dräneringsgräns; PVD=förtillverkad vertikaldrän av typen banddrän av plast.

För att en vertikaldränering ska vara möjlig att tillämpa krävs dock att projektets tidplan medger tillräcklig liggtid för den temporära överhöjning som behövs. I många fall behövs även markutrymme för att anlägga temporära och/eller permanenta tryckbankar. I projekt med massöverskott kan dessa med fördel nyttjas för överlast och tryckbankar, vilket kan bidra till både kostnads- och miljömässiga fördelar.

1.1 Syfte

Syftet är att lyfta fram vertikaldränering som en förstärkningsåtgärd med en lägre klimatpåverkan och en lägre kostnad jämfört med mer traditionella lösningar som KC-pelare eller bankpålning. En jämförelse av kostnad och klimatpåverkan mellan

vertikaldränering och KC-pelarförstärkning har utförts baserat på underlag från ett pågående uppdrag.

2 PROJEKTERING AV VERTIKALDRÄNERING

Den kanske viktigaste aspekten att komma ihåg vid projektering av vertikaldränering i kombination med överlast är att beräkningarna som utförs i projekteringskedet utgör prognoser, snarare än en slutlig dimensionering. Metoden färdigprojekteras först under byggtiden då verifieringsmätningar ligger till grund för slutliga beslut om upplastnings- och avlastningssekvenser.

Arbetet i ett systemhandlings- och järnvägsplan/vägplaneskede syftar därför främst till att bedöma projektets genomförbarhet samt att utvärdera om de geotekniska och de projektspecifika förutsättningarna är lämpliga för vertikaldränering. I detta skede görs också preliminära bedömningar av nödvändig överhöjning, upplastningssekvenser, samt en bedömning av eventuellt behov och utformning av tryckbankar.

Eftersom den slutliga dimensioneringen sker under byggtiden, och är starkt beroende av verifieringsmätningar, krävs ett väl genomarbetat program för mätningar och kontroller. Portrycksmätningar, sättningmätningar och kontroll av liggtider är viktiga då deras resultat kan innebära att exempelvis laststegens storlek, liggtider eller överlastens omfattning behöver justeras i förhållande till de ursprungliga prognoserna.

Det är även viktigt att beakta att bankar förstärkta med vertikaldräner är känsliga för framtida förändringar i grundvattennivån. En sänkning av grundvattenytan medför ökade effektivspänningar, vilket kan resultera i att ytterligare konsoliderings- och krypsättningar uppstår. Situationer inom projektet som kan påverka grundvattensituationen kan normalt identifieras och hanteras i projekteringen, men framtida yttre faktorer ligger ofta utanför projektets kontroll. Exempelvis kan nya grundvattenuttag, förändringar i markavvattning eller nya bygg- och anläggningsprojekt i närområdet leda till grundvattensänkningar som på sikt påverkar sättningsutvecklingen i marken.

2.1 Tidiga skeden / systemhandlings- och planskedet

I tidiga skeden, såsom förstudie-, utrednings- och programskede, utförs geotekniska bedömningar ofta på ett översiktligt underlag, exempelvis arkivdata och geologiska kartblad. I detta skede handlar arbetet främst om att identifiera områden där förstärkning av jordlagren kan krävas och om vertikaldränering kan vara en möjlig förstärkningsåtgärd.

När projektet når systemhandlings- och planskedet är planläget normalt mer fastlagt, vilket gör det möjligt att identifiera specifika delsträckor där vertikaldränering är tekniskt, ekonomiskt och praktiskt genomförbart. Vid denna tidpunkt bör även projektets övergripande tidplan vara tillräckligt klar för att bedöma om byggtiden

medger de liggtider som krävs för en förstärkning med vertikaldränering. Parallellt kan detaljerade massbalansberäkningar genomföras, vilka ger underlag för om tillräckligt med massor finns tillgängliga inom projektet för att anlägga överlast och tryckbankar.

I planskedet fastställs också markanspråket, vilket gör det särskilt viktigt att säkerställa att tillräckligt stora ytor avsätts för tryckbankar. Otillräckligt markutrymme i detta skede kan senare begränsa möjligheterna att genomföra metoden eller kräva omfattande omprojektering.

En annan viktig fråga i planskedet är stabilitetsanalyser kopplade till upplastning av bank, överhöjning och eventuella tryckbankar. En bedömning behöver utföras om stabiliteten är tillräcklig i de laststeg som krävs för den projekterade överhöjningen. I vissa fall kan hela bankhöjden, inklusive överhöjningen, fyllas upp i ett enda laststeg, och då oftast i kombination med att tryckbankar anläggs för att säkerställa stabiliteten. I andra fall kan banken behöva höjas etappvis med liggtider mellan etapperna. Detta utförs för att möjliggöra den hållfasthetstillväxt som sker i jorden till följd av den konsolidering som sker under liggtiderna. Dessa överväganden utgör en viktig del av metodens genomförbarhet och påverkar både tidplan och utformning av förstärkningsåtgärden.

2.2 Omfattning av undersökningar

I systemhandlingsskedet utförs normalt huvuddelen av de geotekniska och hydrogeologiska fält- och laboratorieundersökningarna. Dessa är nödvändiga för att kunna projektera en vertikaldränering, eftersom metoden kräver en detaljerad geoteknisk, geologisk och hydrogeologisk modell för att dimensionera överlast och tryckbankar.

För att kunna göra en dimensionering av en vertikaldränering krävs ett detaljerat underlag avseende markens deformations- och konsolideringsegenskaper. Utöver detta behövs även ett detaljerat underlag avseende de hydrogeologiska förhållanden som råder.

Hållfasthetsegenskaperna i kohesionsjord bör alltid utvärderas med avancerade laboratieförsök som direkta skjuvförsök och CRS-försök.

Långtidsmätningar i grundvattenrör och portryckspetsar är ofta nödvändiga för att upprätta tillförlitliga hydrogeologiska modeller, vilket är särskilt viktigt vid vertikaldränering för att kunna bedöma stabilitetsförhållandena och konsolideringsförloppet.

2.3 Kontroll och uppföljning

I systemhandlingsskedet tas normalt inte ett färdigt kontrollprogram fram för uppföljning av konsoliderings- och sättningförloppet vid vertikaldränering. Fokus bör i stället ligga på att tydliggöra behovet av ett kontrollprogram och ange vilka delar ett sådant program bör innehålla.

Ett kontrollprogram beskriver hur konsolideringsförlopp, sättningar och portryck i leran ska följas upp under byggtiden, samt vilken omfattning av de eventuella omgivningspåverkansmätningar som bedöms nödvändiga. Resultaten från mätningar utgör ett centralt underlag för att bedöma om överhöjningens omfattning behöver justeras och för att fastställa rätt tidpunkt för avlastning. På så sätt fungerar kontrollprogrammet som ett viktigt verktyg för att säkerställa både metodens tekniska funktion och projektets tidsplan.

3 JÄMFÖRELSE MELLAN VERTIKALDRÄNERING OCH KC-PELARE

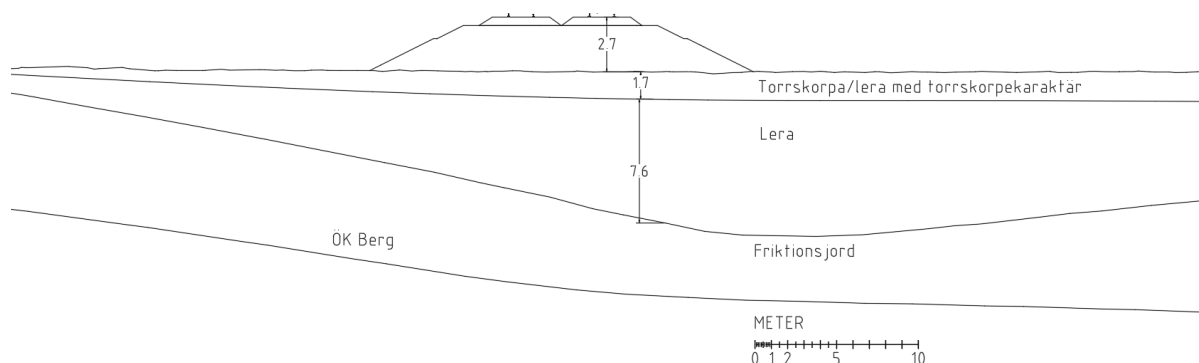
Vertikaldräner i kombination med överlast och tryckbank är ett alternativ med en lägre klimatpåverkan och kostnad jämfört med den mer vanliga förstärkningsåtgärden med KC-pelare. För att undersöka skillnaden avseende kostnads- och klimatpåverkan mellan dessa två metoder har en delsträcka från ett pågående järnvägsuppdrag använts, där både vertikaldräner och KC-pelare har dimensionerats för att klara kraven på sättningar och stabilitet.

En viktig faktor som nämndes ovan och som kan ha en stor påverkan på framförallt kostnaden vid val av förstärkningsåtgärd, är tillgången till och typen av schaktmassor som finns inom projektet. I de fall där massor för bankuppfyllning, överlast och tryckbankar finns att tillgå inom projektet minskar kostnaderna för transporter av massorna. Av den anledningen har två jämförelser utförts. I Fall 1 antas att massor för både tryckbank och överlast finns att tillgå inom projektet. I denna jämförelse blir överskottsmassorna från både tryckbank och överlasten en kostnad för KC-pelarförstärkningen då dessa då behöver transporteras bort från projektet. I Fall 2 antas istället att massor för tryckbankar finns att tillgå inom projektet, medan massor för överlast behöver köpas in och transporteras en sträcka om 15 km till den aktuella platsen.

3.1 Geotekniska och hydrogeologiska förutsättningar

För den aktuella delsträckan som har använts vid de jämförande beräkningarna utgörs jordprofilen av en torrskorpelera med en mäktighet på cirka 2 meter. Leran under torrskorpeleran utgörs av en siltig lera med en mäktighet på cirka 8 meter. Därefter följer friktionsjord på berg.

Lerans tunghet varierar mellan 1,55 och 1,71 t/m³. Den odränerade skjuvhållfastheten i leran är utvärderad till mellan 14,0 och 19,4 kPa. Utvärderad kompressionsmodul för spänningar över förkonsolideringstrycket varierar mellan 200 och 450 kPa. Längs sträckan antas portrycket i leran öka med 10,4 kPa/m från torrskorpans underkant (icke hydrostatisk grundvattenprofil råder således). I Figur 2 presenteras den beräkningssektion som har bedömts vara representativ för sträckan.



Figur 2. Aktuell beräkningssektion för jämförelse.

3.2 Beräkningsmetodik

Tekniska krav och råd hämtas från TRVINFRA-00230. Beräkning av erforderlig överhöjning för vertikaldräner har utförts enligt diagrammetoden i TRVINFRA-00230 (punkt 1–10 i kap. 8.5.3), med avsteg från punkt 5 (modellering av bankens slutsättning). Beräkning av bankens slutsättning har istället utförts enligt diagrammetoden som presenteras i Vägverkets metodbeskrivning för vertikaldränering (publ. 1987:30). Skillnaden mellan metoden som presenteras i TRVINFRA och Vägverkets metodbeskrivning 1987:30 är att hänsyn till den överkonsolideringsgrad som bör uppnås vid avlastning av överlasten sker via en passningsberäkning för tillskottsspänningen $\Delta\sigma_A$, och inte mot 1,15 x sättningskurvan som metodiken i TRVINFRA anger.

3.3 Mängder

I Tabell 1 presenteras ingående mängder för båda alternativen som har använts vid framtagande av totala kostnader och total klimatpåverkan. Den totala sträckan som ska förstärkas är 140 meter.

Tabell 1. Ingående mängder för respektive förstärkningsåtgärd.

Ingående material	Mängd
Vertikaldräner	31 209 m
Överlast - vertikaldräner	4141 m ³
Avlastning av överlast - vertikaldräner	1462 m ³
Tryckbank - vertikaldräner	10 920 m ³
KC-pelare	16 762 m
Överlast - KC	1218 m ³
Avlastning av överlast – KC	974 m ³

3.4 Investeringskostnader och emissionsfaktorer

Kostnader och emissionsfaktorer för ingående material och arbetsmoment redovisas i Tabell 2 respektive Tabell 3 nedan.

Gällande hantering av överskottsmassor för alternativet med KC-pelare, då massor från tryckbankar och överlast inte kan nyttjas, har mellanskillnaden mellan jord- och bergschakt Fall A och Fall B lagts som en kostnad respektive klimatpåverkan för alternativet med KC-pelare. Detta då förstärkning med KC-pelare innebär att dessa massor behöver transporteras bort från projektet.

Kostnader för schakt och fyll av jord och berg varierar mellan projekt och baseras på bland annat tillgänglighet och transportavstånd. I denna jämförelse har kostnader framtagna i ett pågående projekt nyttjats.

Tabell 2. Kostnader för ingående material och arbetsmoment.

Ingående material och arbetsmoment	Delmoment	Å-pris
Installation vertikaldräner	Etablering	50 000 kr
	Kostnad material	20 kr/m
Installation KC-pelare	Etablering	75 000 kr
	Kostnad material	240 kr/m
Fyll tryckbank	Fyll Jord Fall A	70 kr/m ³
Fyll överlast	Fyll Berg Fall A	70 kr/ m ³
Fyll överlast	Fyll Berg Fall B	300 kr/m ³
Borttagande av överlast	Jordschakt Fall A	100 kr/m ³
Hantering massöverskott	Fall B jord	130 kr/m ³
	Fall B berg	120 kr/m ³

Emissionsfaktorer för beräkning av klimatpåverkan är hämtade från Trafikverkets beräkningsverktyg Klimatkalkyl, version 8.0.

Tabell 3. Emissionsfaktorer för ingående material och arbetsmoment.

Ingående material	Emissionsfaktor	Kommentar
Vertikaldräner	2,10 kg CO ₂ e/m	
KC-pelare, material & installation	43,59 kg CO ₂ e/m ³	
Tryckbank (Jord Fall A)	2,11 kg CO ₂ e/m ³	Avser jord, Fall A, fyll
Överlast (Fall A)	7,95 kg CO ₂ e/m ³	Avser berg, Fall A, fyll
Överlast (Fall B)	14,15 kg CO ₂ e/m ³	Avser berg Fall B, fyll
Borttag av överlast Fall B	2,14 kg CO ₂ e/m ³	Avser jord, Fall A, schakt
Jordschakt (överskottsmassor vid KC)	4,12 kg CO ₂ e/m ³	Avser jord, Fall B
Bergschakt (överskottsmassor vid KC)	6,96 kg CO ₂ e/m ³	Avser berg, Fall B

3.5 Resultat och diskussion

3.5.1 Fall 1 – massor för tryckbankar och överlast finns inom projektet

Resultaten för kostnader och klimatpåverkan för det fall där massor för både tryckbankar och överlast finns inom projektet presenteras i Tabell 4 respektive Tabell 5.

Tabell 4. Resultat av kostnader och klimatpåverkan för vertikaldränering.

Vertikaldränering/tryckbankar/överlast	Kostnad		Klimatpåverkan, CO ₂ e	
Vertikaldränering material och installation	674 179	kr	18,6	ton CO ₂ e
Tryckbank (Fall A)	764 400	kr	23,0	ton CO ₂ e
Överlast (Fall A)	289 884	kr	32,9	ton CO ₂ e
Borttag av överlast (Fall A)	146 160	kr	3,1	ton CO ₂ e
Total	1,9	Mkr	77,7	ton CO₂e

Tabell 5. Resultat av kostnader och klimatpåverkan för KC-pelare.

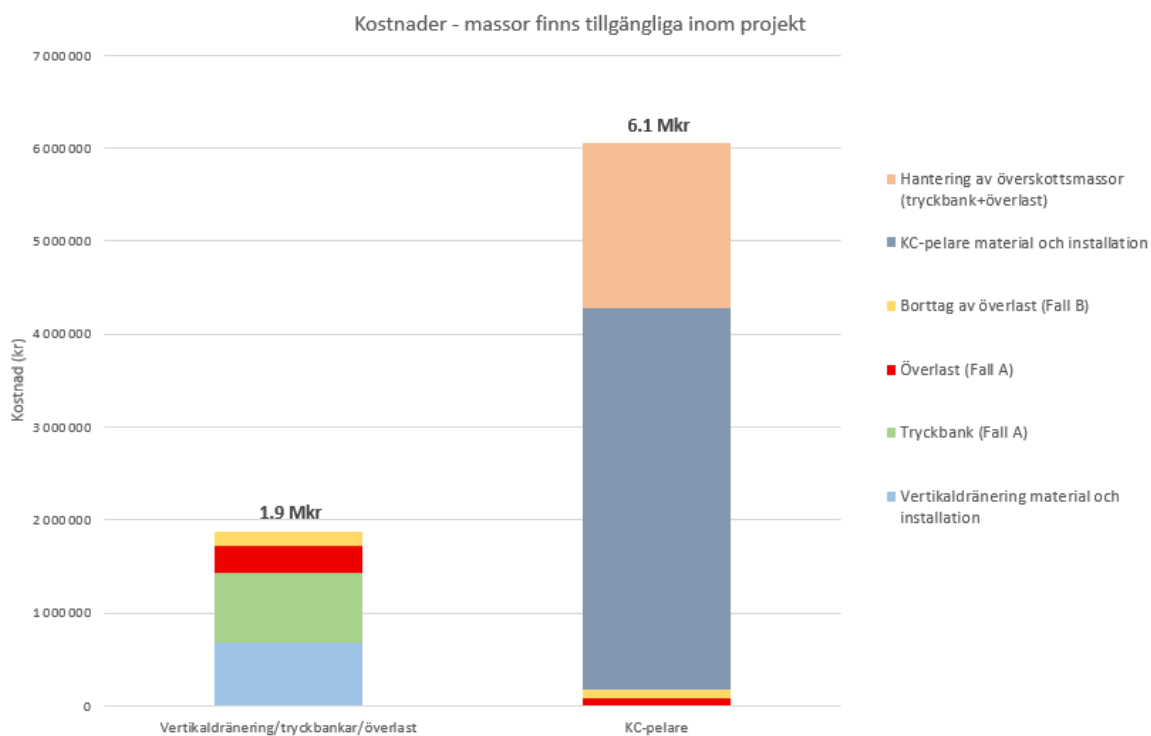
KC-pelare	Kostnad		Klimatpåverkan, CO ₂ e	
KC-pelare material och installation	4 097 826	kr	730,6	ton CO ₂ e
Överlast (Fall A)	85 260	kr	9,7	ton CO ₂ e
Borttag av överlast (Fall A)	97 440	kr	2,1	ton CO ₂ e
Hantering av överskottsmassor (Fall B)	1 770 384	kr	65,3	ton CO ₂ e
Total	6,1	Mkr	807,7	ton CO₂e

Om projektet har tillgång till massor för att anlägga både överlast och tryckbankar gynnas alternativet med vertikaldränering, då samma massor i KC-alternativet till stor del blir ett överskott som måste transporteras bort som Fall B-massor. Även vid alternativet med KC-pelare har en viss överlast antagits, men den klart största mängden massor – framförallt för tryckbankar – kan inte nyttjas inom projektet.

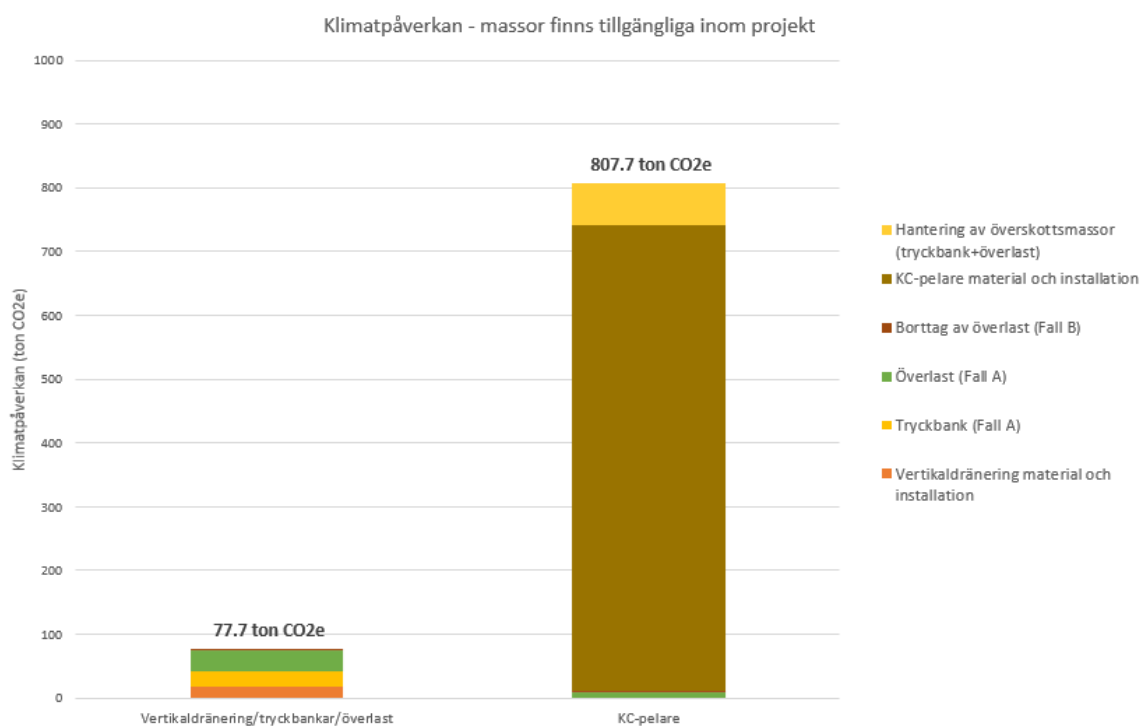
För vertikaldränering ligger den största kostnaden i detta fall i anläggandet av de omfattande tryckbankarna som krävs för att säkerställa stabiliteten när överlasten placeras på järnvägsbanken. Trots detta uppgår kostnaden för vertikaldränering till ungefär en tredjedel av kostnaden för KC-pelare. För KC-pelare utgörs en stor del av kostnaden av just hanteringen av överskottsmassor, men en stor del ligger även i kostnaden för material och installation.

Klimatpåverkan skiljer alternativen åt ännu mer tydligt då alternativet med KC-pelare ger cirka 10 gånger högre påverkan mätt i CO₂-ekvivalenter (CO₂e) jämfört med vertikaldränering. För KC-alternativet ger material och installation det största bidraget till klimatpåverkan (90 %).

I Figur 3 och Figur 4 redovisas grafer med en jämförelse mellan de två alternativen vad gäller kostnader respektive klimatpåverkan.



Figur 3. Resultat av kostnader för vertikaldränering respektive KC-pelare.



Figur 4. Resultat av klimatpåverkan för vertikaldränering respektive KC-pelare.

3.5.2 Fall 2 –massor för överlast finns inte inom projektet

Resultaten för kostnader och klimatpåverkan i de fall där massor till överlast inte finns att nyttja inom projektet för vertikaldräner och KC-pelare presenteras i Tabell 6 respektive Tabell 7.

Tabell 6. Resultat av kostnader och klimatpåverkan för vertikaldränering.

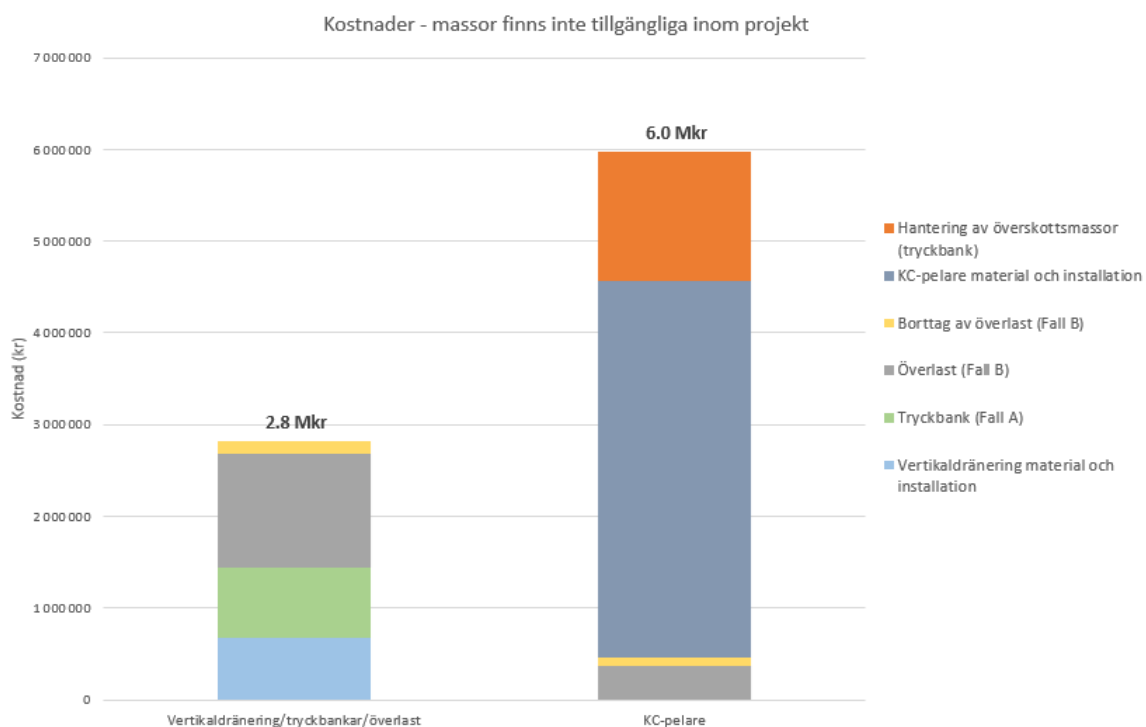
Vertikaldränering/tryckbankar/överlast	Kostnad		Klimatpåverkan, CO ₂ e	
Vertikaldränering material och installation	674 179	kr	18,6	ton CO ₂ e
Tryckbank (Fall A)	764 400	kr	23,0	ton CO ₂ e
Överlast (Fall B)	1 242 360	kr	58,6	ton CO ₂ e
Borttag av överlast (Fall A)	146 160	kr	3,1	ton CO ₂ e
Total	2,8	Mkr	103,4	ton CO₂e

Tabell 7. Resultat av kostnader och klimatpåverkan för KC-pelare.

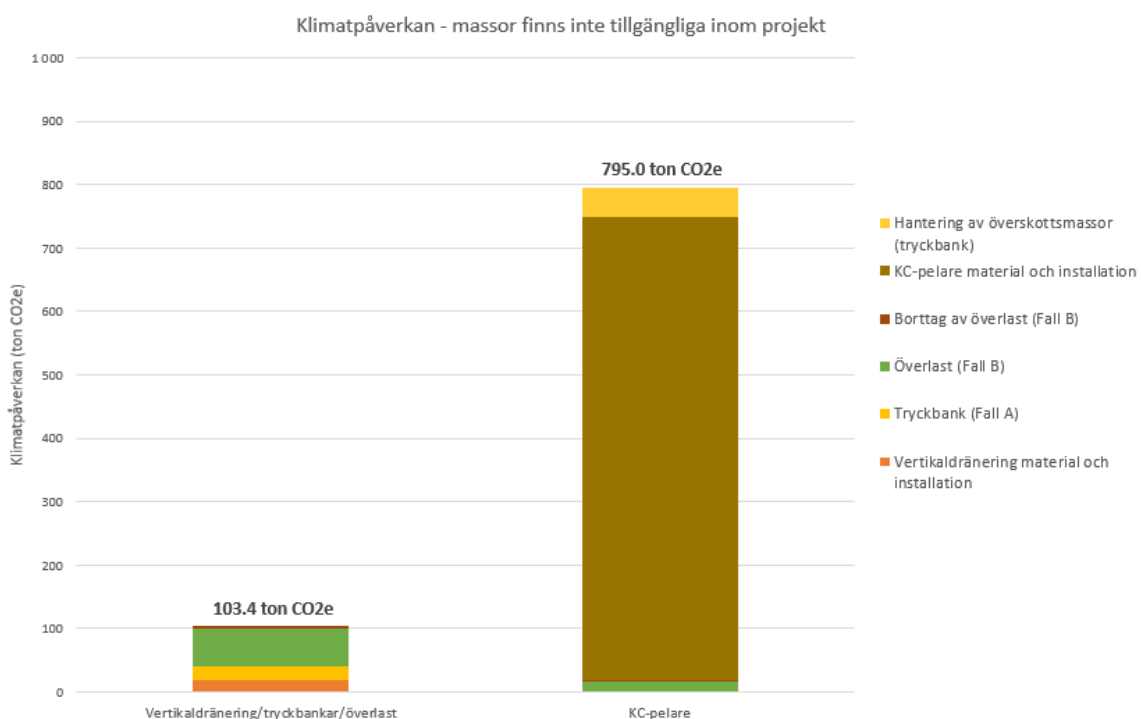
KC-pelare	Kostnad		Klimatpåverkan, CO ₂ e	
KC-pelare material och installation	4 097 826	kr	730,6	ton CO ₂ e
Överlast (Fall B)	365 400	kr	17,2	ton CO ₂ e
Borttag av överlast (Fall A)	97 440	kr	2,1	ton CO ₂ e
Hantering av överskottsmassor (Fall B)	1 419 600	kr	45,0	ton CO ₂ e
Total	6,0	Mkr	795,0	ton CO₂e

I det fall massor för överlast behöver köpas in och hämtas utanför projektområdet förändras kostnadsbilden mellan alternativen. Den största skillnaden är att KC-alternativet belastas med en mindre kostnad för hantering av överskottsmassor. Trots detta är alternativet med KC-pelare fortfarande cirka två gånger dyrare än vertikaldränering, då material och installation av KC-pelare fortsatt utgör en stor del av kostnaden. Klimatmässigt kvarstår också den tydliga skillnaden i att KC-alternativet innebär en 7 till 8 gånger högre klimatpåverkan i form av CO₂-ekvivalenter jämfört med vertikaldränering.

I Figur 5 och Figur 6 redovisas grafer med en jämförelse mellan de två alternativen vad gäller kostnader respektive klimatpåverkan.



Figur 5. Resultat av kostnader för vertikaldränering respektive KC-pelare.



Figur 6. Resultat av klimatpåverkan för vertikaldränering respektive KC-pelare.

3.6 Diskussion och slutsats

Tillgången på lämpliga massor har en stor betydelse för både kostnad och klimatpåverkan vid förstärkning med vertikaldränering i kombination med överlast och tryckbankar. Om massor saknas inom projektet tillkommer transportkostnader, där avståndet till tillgängliga massor i sin tur påverkar både den ekonomiska och klimatmässiga påverkan. Det finns således en vinst i att utnyttja de massor som finns inom projektet. Detta är särskilt fördelaktigt vid anläggandet av tryckbankar, eftersom olika typer av materialtyper kan nyttjas då det främst är tyngden från massorna som eftersträvas och inte vilken kvalitet massorna har. För en överlast är dock det allra bästa alternativet att använda samma massor som för bankfyllningen, vilket ställer ett högre krav på vilka massor som kan användas. I de jämförelser som utförts har det antagits att massor för tryckbankar finns inom uppdraget. Detta medför att alternativet med KC-pelare får en stor kostnad för hantering av överskottsmassor i båda jämförelserna.

Ur klimatsynpunkt är skillnaden mellan alternativen mycket stor i båda fallen. Vertikaldränering med överlast innebär en betydligt lägre klimatpåverkan jämfört med KC-pelare där den drivande klimatpåverkan ligger i materialet och installationen av KC-pelarna.

I denna jämförelse har endast kostnader kopplat till material och installation av förstärkningsåtgärder beaktats. Det finns dock andra, mer svårbedömda kostnader för en förstärkning med hjälp av vertikaldräner, som inte har tagits med i jämförelsen. Vertikaldränering kräver exempelvis ett större behov av kontroll och uppföljning under byggtiden för att säkerställa att sättningar hinner tas ut. En annan central fråga är markanspråk eftersom tryckbankar oftast krävs vid vertikaldränering. Det finns även en aspekt i att överlasten ofta behöver läggas ut så tidigt som möjligt för att säkerställa att sättningarna hinner utvecklas inom den tillgängliga tiden. Därför kan det, beroende på när massor blir tillgängliga inom projektet, bli aktuellt att köpa in material externt för att kunna påbörja överlastningen i tid.

Ett annat alternativ av förstärkningsåtgärd som inte har beaktats i denna jämförelse är att kombinera KC-pelare med tryckbankar. Detta alternativ kan minska klimatpåverkan för alternativet med KC-pelare om det är möjligt att reducera mängden KC och istället säkerställa stabiliteten med tryckbankar. Det medför även att överskottsmassor inom projektet kan användas för tryckbankar för alternativet med KC-pelare.

Enligt den jämförelse som gjorts visar resultaten att vertikaldränering är en betydligt mer klimatvänlig metod. Samtidigt är det, ur ett kostnadsperspektiv, ett mer ekonomiskt fördelaktigt alternativ till KC-pelare. Detta oavsett om massor för överlast finns att tillgå inom projektet eller behöver transporteras till platsen.

4 REFERENSER

1. Müller, R. (2010). Embankments founded on sulphide clay – some aspects related to ground improvement by vertical drains. Licentiate thesis, Division of Soil and Rock Mechanics, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm
2. Vägverket. (1989). Vertikaldränering (Vägverkets publikationer 1987:30). Borlänge: Vägverket.
3. Trafikverket (2025). TRVINFRA-00230 – Geokonstruktion, Dimensionering och utformning. Version 3.0. Borlänge: Trafikverket.