



Minskning av risken för skador på gasledningar genom djupförläggning och användandet av grävskydd

(Reducing the risks for gas pipe damages through deep digging and the use of protective plates)

Jan Henrik Sällström, Kristian Thörnblom, Lisa Bolin, Hans Andersson

*"Catalyzing energygas development
for sustainable solutions"*

Svenskt Gastekniskt Center AB, SGC

Om SGC

SGC är ett spjutspetsföretag inom hållbar utveckling med ett nationellt uppdrag. Vi arbetar under devisen *"Catalyzing energygas development for sustainable solutions"*. Vi samordnar branschgemensam utveckling kring framställning, distribution och användning av energigaser och sprider kunskap om energigaser. Fokus ligger på förnybara gaser från rötning och förgasning. Tillsammans med företag och med Energimyndigheten och dess kollektivforskningsprogram *Energigastekniskt utvecklingsprogram* utvecklar vi nya möjligheter för energigaserna att bidra till ett hållbart samhälle. Tillsammans med våra programråd inom *Rötning, Förgasning och bränslesyntes, Distribution och lagring, Kraft/Värme* och *Gasformiga drivmedel* identifierar vi frågeställningar av branschgemensamt intresse att genomföra forsknings-, utvecklings och/eller demonstrationsprojekt kring. Beslut om eventuell statlig medfinansiering från Energimyndigheten fattas av den externa Beslutsnämnden inom ramen för kollektivforskningsprogrammet som f.n. löper under tiden 090401–130331.

Resultaten från projekt drivna av SGC publiceras i en särskild rapportserie – *SGC Rapport*. Rapporterna kan laddas ned från hemsidan – www.sgc.se. Det är också möjligt att prenumerera på de tryckta rapporterna. SGC svarar för utgivningen av rapporterna medan rapportförfattarna svarar för rapporternas innehåll.

SGC ger också ut faktabroschyrer kring olika aspekter av energigasers framställning, distribution och användning. Broschyrer kan köpas via SGC:s kansli.

SGC har sedan starten 1990 sitt säte i Malmö. Vi ägs av Eon Gas Sverige AB, Energigas Sverige, Swedegas AB, Göteborg Energi AB, Lunds Energikoncernen AB (publ) och Öresundskraft AB.

Finansiering av det här projektet

Det här projektet har finansierats av Eon Gas AB, Swedegas AB, Göteborg Energi AB, Kraftringen Nät AB, Öresundskraft AB, Stockholm Gas AB och SGC via Energimyndigheten.

Malmö 2013-01-29



Martin Ragnar
Verkställande direktör

Swedish Gas Technology Centre, SGC

About SGC

SGC is a leading-edge company within the field of sustainable development having a national Swedish assignment. We work under the vision of “*Catalyzing energygas development for sustainable solutions*”. We co-ordinate technical development including manufacture, distribution and utilization of energy gases and spread knowledge on energy gases. Focus is on renewable gases from anaerobic digestion and gasification. Together with private companies and the Swedish Energy Agency and its frame program *Development program for energy gas technology* we develop new solutions where the energygases could provide benefits for a sustainable society. Together with our program committees within *Anaerobic digestion, Gasification and fuel synthesis, Distribution and storage, Power/Heat and Gaseous fuels* we identify issues of joint interest for the industry to build common research, development and/or demonstrations projects around. Decisions on any financial support from the Swedish Energy Agency are made by the external Beslutsnämnden within the frame program that currently runs 090401–130331.

Results from the SGC projects are published in a report series – *SGC Rapport*. The reports could be downloaded from our website – www.sgc.se. It is also possible to subscribe to the printed reports. SGC is responsible for the publishing of the reports, whereas the authors of the report are responsible for the content of the reports.

SGC also publishes fact brochures and the results from our research projects in the report series *SGC Rapport*. Brochures could be purchase from the webiste.

SGC is since the start in 1990 located to Malmö. We are owned by Eon Gas Sverige AB, Energigas Sverige, Swedegas AB, Göteborg Energi AB, Lunds Energikoncernen AB (publ) and Öresundskraft AB.

Financing of this project

This project has been financed by Eon Gas AB, Swedegas AB, Göteborg Energi AB, Krafringen Nät AB, Öresundskraft AB, Stockholm Gas AB and SGC through the Swedish Energy Agency.

Malmö, Sweden 2013-01-29



Martin Ragnar
Chief Executive Officer



Förord

Här rapporteras del 2 av ett projekt med målet kunna föreslå grävskydd för ledningar under mark i allmänhet och speciellt för bio- och naturgas. Projektet har finansierats av Svenskt Gastekniskt Center (SGC) och utförts av SP under 2012. Ett tack riktas till referensgruppen bestående av Bo S Andersson (Göteborg Energi), Stig Hellgren & Jan Johansson (Swedegas), Martin Ragnar (SGC, programansvarig) samt Lars Synnerholm (MSB) för värdefulla synpunkter.

Göteborg i december 2012

Jan Henrik Sällström, Kristian Thörnblom, Lisa Bolin, Hans Andersson



Summary

This report concerns part 2 of a project with the aim to propose protective measures for cables and pipelines for bio and natural gas. Part 1 was previously reported in SGC Rapport 2011:239. The wish is to be able to increase the pressure in the distribution networks from 4 to 10 bar without having to retain the safety distances valid for 80 bar pipelines. Polymer, concrete and steel protective plates, and deep digging are the physical measures considered.

In part 1 a survey was made, in part by an enquiry, of the frequency, causes and consequences of incidents where pipelines were hit by excavators. Further, the rules and standards were investigated in countries where 7–10 bar pipelines are already in service. Here, in part 2 the perspective was widened to include, apart from gas pipelines, also all kinds of buried pipelines and cables.

Now a visit to a supplier in France is reported, as well as an investigation of costs and environmental impacts of the different protective measures, and an analysis of the strength of protective plates and of how they can best be positioned in the ground in relationship to the pipeline.

The main result from the study visit to France was that new regulations mean that both new and existing pipelines have to be satisfactorily protected. For the physical point of view these plastic protective plates play an important part, and there are commercially available building systems of plates for which the strength and durability have been verified by tests.

In the full scale experiments done in, e.g., France, it can be concluded that the plastic (HDPE) plates can withstand high loads which are applied by use of a bucket with teeth mounted on an excavator. In some cases penetration of teeth occurs, but the plates will in that case either come up and alert the operator or stay in the ground and still protect the buried cable or pipeline. Concrete plate can also break, but the pieces are held together by the steel reinforcement.

The analysis of costs and environmental impacts shows that plastic plates are preferred with regard to both aspects. In addition they have a very good signalling effect being produced in a bright yellow colour. Also deep digging can be effective taking into account costs and environmental aspects, but the risk reduction will according to literature be less than for the plates.

Plastic plates are shown, in the literature surveyed, by full scale experiments to have at least as good, and sufficient, resistance to impact as concrete ones. This is verified by in-house numerical analyses. The finite element analyses show that the plastic plates deforms but do not break. The arching action of the backfill protects the buried pipe, and the stresses become only somewhat higher when using plastic plates instead of using stiff plates of steel or concrete. There may be unfavourable cases when the plastic plates cannot by themselves stop forces and stresses passing down through soil layers acting on the buried pipe.



Plates of steel are expensive and lead to high environmental impacts. Hence, they can only be of interest exceptionally for special cases and places. Somewhat more attractive are plates of concrete with respect to costs and environmental impacts. Concrete plates can be used when cables and pipelines need to be protected due to high vertical loads from, e.g., heavy traffic. In this study it has been assumed that the concrete plates are pre-fabricated. Alternatively, concrete can be poured in to prefabricated moulds on site. However, the environmental impacts of the transport are relatively small, which mean that the alternative will yield similar environmental impacts. Also, costs are considered to be similar for both cases of installing concrete plates.

As previously stated, the alternative to use deep digging gives less risk reduction as compared to using protective plates. However, external protective pipes can be used for increasing the safety. Here, deep digging is considered to be accomplished by extra excavation and laying the cables or pipelines 1.0 m deeper than normally. An alternative for laying the pipes deeper is to use guided drilling. In this project, the effects on environment, costs or safety have not been studied for using either protective pipes or guided drilling. However, they can be of interest to include in a future project.

A discussion is presented of how well the geometric design of pipeline and protective plate protects the pipeline against some digging scenarios with excavators of different sizes. The most critical cases are not when the bucket hits on top of the protective plates right above the buried pipe. Instead, most dangerous cases are considered to possibly occur when excavating perpendicular towards the pipeline, and nearly all material are removed but the pipe and the protective plates are still hidden. When the excavating continues the pipeline can be damaged.

The excavation models show that excavators with large buckets can hit the cable or the pipeline and the protective plates simultaneously, if the operator is not careful and dig with low capacity. The studied excavating scenarios also show that it is an advantage to increase the distance between the protective plates and the pipeline from the 0.3 m used in several countries today. However, if the excavating occurs from the deeper position from the side, the distance between the plates and the pipeline should not be too far, since there is a chance of digging between the protective plates and the pipeline.

When digging perpendicular towards the pipeline, the protective plastic plate will buckle very easily, when hit from the side. Hence, the plastic plate will not prevent the bucket from continuing unless the operator is alerted by seeing the plate. In case like this it would be advantageous of using stiff concrete plates. However, in France the same risk reduction factor (0.01) can be used for both the plastic and concrete plates.

Since the regulations are differing between countries and comprise a mix of administrative and physical protective measures in a way that is not quite evident, it was also found worthwhile to make a note, for possible further use, on how risk



analysis can, and has been, used in connection with the establishment of major pipelines for optimization of protective measures.

Some of the conclusions are:

- Plates of polyethylene which are commercially available fulfil high demands on strength. They are cheap and give less impact on environment as compared to concrete plates. The plastic plates are not as good as the concrete plates when hit horizontally on the edge. The plates can probably be used to a large extent in Sweden for reaching an acceptable safety level for installed cables, pipelines and the excavator operator being the person first exposed to gas leakage.
- Protective plates of concrete can be an alternative for protecting cables or pipelines from high vertical loads induced by heavy vehicles.
- Plates of steel have drawbacks with respect to both costs and environmental impacts
- Protection as protective plates is a good way to protect cables or pipelines. The risk reduction is higher than for increasing the laying depth from 1.0 m to 2.0 m.
- The choice of increasing the laying depth to 2.0 m is attractive with respect to costs and environment, when existing masses can be used for backfilling.
- There are much information from other countries with more pipelines that can be considered in the future work

A natural and important issue for future work is to quantify risk reduction factors for different safety measures applied in Sweden and Europe. The literature found in this area needs to be scrutinized. A set of type cases has to be defined, which can roughly be the urban areas and countryside. Risk analyses for these and other type cases are suggested to be done, which can be useful for planning new pipelines, and for writing new regulations. Statistical models of excavating are considered to be of assistance when carrying out these risk analyses.

Key words: Pipeline, natural gas, excavation, protective plates.



Sammanfattning

Här rapporteras del 2 av ett projekt med målet kunna föreslå grävskydd för ledningar under mark i allmänhet och speciellt för bio- och naturgas. Del 1 har tidigare rapporterats i SGC Rapport 2011:239. Önskemålet är att öka trycket i gasledningar från nuvarande 4 till 10 bar utan att behöva behålla samma skyddsavstånd som för 80 bars ledningar. Polymera skyddsplattor, skyddsplattor av betong och stål samt djupförläggning är de metoder som behandlas för att öka säkerheten.

I del 1 undersöktes, delvis i form av en enkät, frekvens, orsaker och konsekvenser av incidenter där ledningar träffas av grävmaskiner. Vidare gjordes en sammanställning av normer och regler i länder där 7–10 bar ledningar redan är i drift.

Nu rapporteras ett studiebesök hos en leverantör i Frankrike, liksom en undersökning av kostnader och miljöpåverkan för de olika skyddsåtgärderna, samt en analys av hållfastheten hos plattor för grävskydd och hur de bäst kan placeras under mark i förhållande till ledningen.

Ett resultat från studiebesöket är att nya regelverk innebär att såväl nya som existerande transmissionsledningar måste ges ett tillfredsställande skydd. För den fysiska delen av detta spelar skyddsplattor av plast en viktig roll och det finns kommersiella byggsystem av sådana plattor med verifierad styrka och beständighet.

Undersökningen av kostnader och miljöpåverkan visar att plattor av plast är att föredra i båda avseendena. Plastplattorna har dessutom en god signaleffekt genom att tillverkas i en starkt gul färg. Även djupförläggning kan vara ett effektivt ur miljö och kostnadshänseende när befintliga massor kan användas för återfyllnad, men samma riskreduktion erhålls inte som för plattorna enligt litteraturen.

Även i tillgänglig litteratur visar utförda experiment i full skala att plattor av plast har minst lika god, och tillräcklig, hållfasthet mot slag som plattor av betong. Detta verifieras genom egna numeriska simuleringar.

Den geometriska förläggningen av rör och skyddsplatta diskuteras kort med avseende på hur väl den skyddar mot några typiska fall av grävning med maskiner av olika storlek.

Eftersom regelverken skiljer sig åt mellan länder och omfattar kombinationer av administrativa och fysiska åtgärder på ett sätt som inte är helt lätt att tränga igenom har det bedömts motiverat att hänvisa litteratur som behandlar riskanalys vid ledningsbyggande, vilket kan vara av vikt i det fortsatta arbetet i efterföljande projektdelar. När det gäller att minska risken för olyckor orsakade av tredjeman, är det av vikt att optimera system av skyddsåtgärder.





Innehållsförteckning

1	Bakgrund.....	11
2	Erfarenheter av grävskyddsplattor	12
2.1	Studiebesök	12
2.2	Franska erfarenheter av grävskyddsplattor	13
2.3	Krav på grävskydd	14
2.4	Myndigheter och branschorganisationer i Frankrike	15
2.5	Overpipe och dess produkter för grävskydd.....	16
2.6	Studiebesök på byggarbetsplats	16
2.7	Kompletterande litteraturstudie	17
3	Olika säkerhetsåtgärder	18
3.1	Utformning av säkerhetsåtgärder.....	18
3.2	Valda scenarier vid jämförelser	19
4	Miljöpåverkan och kostnader.....	21
4.1	Mål och omfattning.....	22
4.2	Miljöpåverkan för olika alternativ	23
4.3	Kostnader för olika alternativ.....	26
5	Dimensionering av plattor.....	28
5.1	Grävmaskiner och skopor	28
5.2	Geometrisk aspekter	29
5.3	Analys av grävskydd, mark och rör	32
5.4	Analys av buckling av grävskydd vid horisontell schaktning	33
6	Diskussion.....	35
7	Slutsatser	36
8	Förslag till fortsatt arbete.....	38
8.1	Styrd borring	38
8.2	Riskreduktion	38
8.3	Fältförsök	39
8.4	Polyetenplattornas hållfasthet	39
8.5	Förslag på riktlinjer.....	39
	Referenser.....	40
	Appendix A: Jämförelse av grävskydd	42
	Appendix B: PE-platta 15 mm	43



Appendix C: PE-platta 20 mm	45
Appendix D: Ståplatta 15 mm	47
Appendix E: Ståplatta 20 mm	49
Appendix F: Betongplatta 120 mm	51
Appendix G: Lagstiftning i EU angående pipelines.....	52



1 Bakgrund

Projektet i sin helhet syftar till att ta fram ett förslag på grävskydd, som kan reducera risken för pågrävning av markförlagda ledningar.

I del 1 av projektet, se Referens [15], var frågeställningen kopplad till en höjning av trycket från 4 till 10 bar i gasledningar av polyeten (PE) och en möjlig framtida norm för 10 bar. Användningen av den nya trycknivån har hittills begränsats av att skyddsavstånden till ledningen varit samma som för 80 bars stålledningar. En ökad utbyggnad av biogasanläggningar, lokala biogasnät och tankstationer har ökat efterfrågan för en norm för 10 bars PE-rörsystem med längre skyddsavstånd än för 4 bars ledningar men kortare än för 80 bars ledningar.

Det gjordes en undersökning för att få en bild av hur och hur ofta pågrävningar av gasledningar sker, och en kartläggning av regler i länder som tillåter 10 bar i PE-ledningar. Vid pågrävning av gasledningar är grävmaskinisten den mest utsatta personen, då han/hon vid en eventuell brand oftast befinner sig närmast ledningen. Det är därför av stor vikt att finna metoder, som försvårar för grävmaskinister att gräva hål på gasledningar. Detta leder till minskad frekvens av pågrävningar, som kan leda till gasläckage. För de första tio månaderna år 2011, har Energigas Sverige fått 25 inrapporterade pågrävningar av natur- och stadsgasledningar.

I denna del av projektet (del 2) breddas fokus till att skydden ska kunna användas för även andra typer av nedgrävda ledningar. Bakgrunden är att öka leveranssäkerhet och minska höga kostnader som avbrott och reparation orsakar vid pågrävning av ledningar. Här jämförs olika grävskydd, som placeras i rörgraven ovanför röret för att försvåra pågrävning, sinsemellan och med djupförläggning.

Projektet i sin helhet, vilket även inkluderar en eventuell fortsättning (del 3), syftar till att utreda och testa olika grävskydds utformning samt vilka material som kan vara lämpliga och praktiska att använda, t.ex. plast, betong och stål. Projektet skall också jämföra miljö- och ekonomiska aspekter av de olika alternativen, vilka även inkluderar djupförläggning.

Utöver att utreda olika utformningar av grävskydd för markförlagda ledningar i allmänhet är också målet att ta fram förslag på riktlinjer för utformande av grävskydd för PE-gasledningar med upp till 10 bars tryck. Förslag tas fram i diskussion med MSB och SGC. Riktlinjerna kan ligga till grund för en ny norm eller nya bestämmelser gällande 10 bars gasledningar.



2 Erfarenheter av grävskyddsplattor

2.1 Studiebesök

För att fånga upp erfarenheter kring utformning och användning av skyddsplattor i andra länder har ett studiebesök genomförts. Schweiz och Frankrike var två kandidater där det finns erfarenhet av grävskydd för transmissionsledningar av gas. Efter litteraturstudier och kontakter i de båda länderna bedömdes det att Frankrike var det land som hade störst erfarenhet av förläggning av PE-plattor, varför studiebesöket valdes att äga rum där.

Under studiebesöket som genomfördes i november 2012 besöktes Overpipe som tillverkar gula grävskyddsplattor i polyeten (PE), se Figur 1 och Figur 2. Företaget har i samarbete med GDF Suez utvecklat en formsprutad PE-platta med flera inbyggda detaljer för en enkel läggning och ökad funktion, såsom dränerande hål, halkskydd, rundade kanter och hål för sammanfogning. Vid en produktion med extrudering krävs efterföljande operationer för att komplettera med dessa egenskaper. Förutom tillverkare Overpipe [21] finns även konkurrenterna Simona [23], Samex [22] och Deltatec [4].



Figur 1: Formspruta för tillverkning av Overpipes grävskyddsplattor.





Figur 2: Paketering av grävskyddsplattor.

2.2 Franska erfarenheter av grävskyddsplattor

Användandet av skyddsplattor i armerad betong har varit det traditionella sättet att mekaniskt skydda gasledningar från pågrävning. Metoden har använts i Frankrike under många år och används även idag. För fyra år sedan (2008) introducerades grävskyddsplattor av polyeten (PE) som ett alternativ till betongplattorna. PE-plattorna har testats och godkänts av myndigheterna. PE-plattornas många fördelar jämfört med betongplattorna har gjort dem populära. Idag lägger man i Frankrike PE-plattor i 90% av fallen och resterande i betong. Betongplattor används alltid för de fall då marken är kraftigt belastad såsom skydd av ledningar under vägar med tung trafik, eftersom dessa plattor fördelar lasten bättre än PE-plattorna. Grävskyddsplattor i stål används inte i Frankrike i någon större utsträckning då detta är ett betydligt dyrare alternativ. Priset för PE- och betongplattor är ungefär detsamma, men fördelarna när det gäller kostnader och miljöpåverkan med PE hör samman med att det är en lättare produkt som är enklare transportera och lägga.

År 2006 introducerades ett nytt regelverk [8] i Frankrike som behandlar säkerheten hos rörledningar för gas och kemikalier. Det nya regelverket ställer betydligt högre krav på ledningarna, när det gäller säkerhet mot pågrävning och skyddande av ledningens omgivning. De ökade kraven gäller inte enbart för nya ledningar utan även för de befintliga, som finns installerade i marken idag. Myndigheterna har gett ledningsägarna en tidsfrist på 3 till 12 år från regelverkets införande att vidta de åtgärder, som behövs för att säkerställa att samtliga ledningsnät uppfyller de nya kraven på säkerhet. Under de senaste tre åren har det pågått en stor aktivitet



hos ledningsägarna för att möta de nya kraven. Arbetet har inneburit att stora ledningssträckor av befintliga rörsystem har grävts upp och försetts med kompletterande grävskydd. Idag finns ca 30000 km transmissionsledning i drift i Frankrike och av dessa har ca 400 km nu försetts med grävskydd. Deadline för uppfyllande av de nya kraven var satt till september 2012 och den största delen av arbetet är nu åtgärdat.

Idag använder Frankrike grävskydd endast för sina transmissionsledningar. Det förs dock nu diskussioner om att även förse distributionsledningar för gas samt elledningar i mark med grävskydd för de fall där ledningarna utgör stor risk för allmänheten eller i områden med stor risk för pågrävning.

Ledningsägarna är enligt lag skyldiga att göra riskanalyser för såväl gamla som nya gasledningar och sedan vidta de åtgärder som krävs för att säkerställa ett fullgott skydd av dess omgivning. Myndigheterna kontrollerar sedan analysen och åtgärderna innan de ger tillstånd för ledningen. För nya gasledningar kräver myndigheterna att dessa inte bara skall vara skyddade för de risker som finns idag utan även för sådana risker som kan bli aktuella 10 år framöver. Exempelvis krävs större skyddsåtgärder än vad som motsvarar dagens risk för ledningar strax utanför städer och tätorter då dessa förväntas växa med tiden. Risken för pågrävning grundas bl a på populationen människor vid ledningen.

Grävskydd i form av plattor är ett av flera alternativ som Frankrike använder för att skydda sina gasledningar mot yttre åverkan av tredje part. Bland de övriga alternativen hör djupförläggning, användande av mantlade rör eller rör av större godstjocklek. De olika åtgärderna ger upphov till olika grad av riskreduktion och valet av slutlig åtgärd beror dels på den omgivande miljön och dels på behovet av riskreduktion. Grävskyddsplattor är en av de åtgärder som har störst inverkar på riskreduktionen, se Referens [11]. Armerade betongplattor och PE-plattor anses likvärdiga med avseende på riskreduktion och för dessa användas en riskreduktionsfaktor på 0.01. Plattorna är dimensionerade för att motstå belastningar från 32 tons grävmaskiner. Myndigheterna har nyligen även godkänt ett grävskydd i form av ett skyddsnät av höghållfast polyesterfibrer. Detta skydd värderas något lägre med en reduktionsfaktor på 0,05 och är dimensionerat för 18 tons grävmaskiner. Djupförläggning betraktas som ett betydligt dyrare alternativ än traditionella grävskyddsplattor. Djupförläggning minskar heller inte risken i samma omfattning som plattorna.

2.3 Krav på grävskydd

GDF Suez (fd. Gas de France) har på uppdrag av GRTGaz (dotterbolag till GDF Suez och ägare/operatör av merparten av transmissionsledningarna i Frankrike) tagit fram kvalifikationskrav och optimal design för grävskyddsplattor av armerad betong respektive PE. Kraven på grävskydden som GDF Suez ställt har godkänts av de franska myndigheterna.

Det främsta kriteriet handlade om det mekaniska skyddet hos grävskyddet där främsta plattan skall klara att skydda ledningen även i de tuffaste (men rimliga) förhållanden.



Följande förhållanden används för kvalifikationstestet, se t ex Referens [3]:

- Plattorna läggs ut på slät mark
- Vertikalt slag med grävskopa från 1m höjd
- 32 tons grävmaskin används för testet

Plattorna tillåts gå sönder vid testet så länge som kontakten mellan grävskopans tänder och röret motverkas. Utöver detta skall grävskyddsplattorna, när det träffas av grävskopans, noteras och anses vara en varningssignal till grävmaskinisten.

Övriga kriterier som GDF Suez ställer på grävskydden är att de skall vara:

- Motståndskraftiga mot de mest frekvent använda grävskoporna
- Lätta att hantera
- Användande av standardmaterial för att säkerställa enkel anskaffning
- Förmågan att ha en varnande funktion
- Rimlig kostnad
- Möjlighet att kunna flyttas vid underhållsarbeten på ledningen
- Minimal påverkan på det katodiska skyddet hos stålledningar

Det finns fem godkända grävskyddsplattor i PE, och bland dessa finns plattorna från Overpipe och Simona.

Vid läggning skall plattorna i Frankrike vara minst 1,25 m breda för rör upp till DN 300, och för större rör skall bredden vara 1,0 m bredare än rörets ytterdiameter. Plattor av betong skall vara mer än 100 mm tjocka, PE mer än 15 mm och stål mer än 20 mm, se Referens [12]. Plattor som kompletteras med markeringsband läggs 300 mm ovanför gasledningarna. Själva markeringsbanden är 300 mm breda.

2.4 Myndigheter och branschorganisationer i Frankrike

GESIP är en professionell industrigrupp bestående av franska operatörer/ledningsägare för olja, gas och kemikalier. Ett av gruppens främsta syften är att förbättra säkerheten för människor och anläggningarna inom industrin. GESIP utarbetar tekniska riktlinjer och anvisningar som sedan används av operatörerna. De arbetar i nära samarbete med myndigheterna och deras rapporter är ofta föremål för godkännanden av myndigheterna.

De franska myndigheterna är representerade i regionerna genom DREAL (Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement = Regionala direktoratet för miljö, planering och bostadsfrågor) som lyder under Franska ministeriet för ekologi, energi och hållbar utveckling. Det finns 15 st DREAL varav 5-6 st är specialiserade på "Third party risks". DREAL övervakar bl.a. säkerheten för gasledningarna i regionen och att operatörerna/ledningsägarna följer de lagar och normer som finns. Ledningsägarna är skyldiga att genomföra riskanalyser för alla gasledningarna och det ligger sedan på dem att visa för DREAL att tillräcklig säkerhet uppnåtts. Det är DREAL som godkänner gasledningarna och utfärdar tillstånd.



2.5 Overpipe och dess produkter för grävskydd

Overpipe är ett företag i sydöstra delen av Frankrike som satsat på att ta fram grävskydd i polymera material för skydd av framför allt transmissionsledningar för gas. De har idag två olika typer av grävskydd, dels en grävskyddsplatta i PE och dels ett nät av höghållfast polyesterfiber. Båda produkterna uppfyller de krav som GDF Suez ställt på grävskydd för transmissionsledningar och har nu godkänts av de franska myndigheterna för användning i Frankrike.

Overpipe har ingen egen produktion utan samarbetar med två olika tillverkare för sina produkter. PE-plattan som var den första produkten som togs fram lanserades på marknaden i juli 2009. Lanseringen föregick av efter 1 års intensivt arbete med utveckling och provning av olika produkter i samarbete med tillverkaren och GDF Suez, som stod bakom de uppsatta kraven som ställdes på grävskyddet. Plattan erbjuds idag i fyra olika dimensioner och är godkänd för att skydda ledning mot åverkan från 32 tons grävmaskiner.

Plattorna tillverkas idag enbart av jungfruligt material, men det finns tankar på att utnyttja återvunnet material. Priser på en platta 1600x1800 mm är EURO 110.

2.6 Studiebesök på byggarbetsplats

En byggarbetsplats 100 km norr om Lyon där GRTGaz använder PE-plattor från Overpipe till att skydda delar av sin transmissionsledning besöktes. Ledningarna som skulle skyddas var två befintliga parallella gasledningar i dimension $\varnothing 300$ mm samt $\varnothing 500$ mm, som efter att nya reglerna infördes 2006 inte uppfyllde säkerhetskraven längre. Den sträcka av ledningen som skulle förses med extra skydd var totalt på 800 m. Kravet på extra skydd beror på att ledningen ligger i närheten av en racingbana med en stor population människor där man kan befara ökad risk för grävaktiviteter.



Figur 3: Byggarbetsplats 100 km norr om Lyon där GRTGaz använder PE-plattor som grävskydd.



Ovanför grävskydden installerades gula markeringsband där flera band läggs jämte varandra för att täcka upp den krävda bredden, rördiametern + 200 mm på varje sida av ledningen. Markeringsbanden är enkla tunna plastnät, ca 300 mm breda och levereras på rulle, som inte har någon skyddande funktion utan enbart är till för att varna.

2.7 Kompletterande litteraturstudie

En bok av Muhlbauer [20] behandlar riskanalyser för rörledningar. En omfattande rapport har skrivits av Mather [19] som handlar om skador orsakade av tredjeman. Reduktionsfaktorer för olika skydd har undersökts, som betongplattor med ovanliggande varningsband. En omfattande riskanalys finns i Referens [16]. Grävskyddsplattor anses ge fem gånger bättre skydd än djupförläggning. Risker och olyckor vid transport av bränslen i pipelines behandlas i Referens [17]. Zarea m fl [32] ger skadestatistik och redogör för olika typer av skador. Den nya standarden för riskanalys av pipelines i Storbritannien behandlas av Haswell m fl [13].

Betydelsen av den mänskliga faktorn är stor, framförallt vid arbete i fält där kvalitetssystem blir extra svåra att implementera. I Referens [1] ges en systematisk studie av hur sådana faktorer påverkar pipelines och hur riskerna kan minskas.

Billet och Pognonec [3] har utvärderat mekaniska skydd i form av betongplattor och PE-plattor. Plattorna utsattes för slag av en grävska som beskrivits i Avsnitt 2.3. Betongplattorna höll för 10 slag och därefter stoppades skopan av armeringsnäten. PE-plattorna penetrerades av skopans tänder på 1-10 slag, men skopan kom inte igenom. I nästa skede kan om skopan flyttas grävskyddet åka med upp och bli synligt eller ligga kvar och fortfarande fungera som en barriär. Vercamer mfl [27] behandlar olika åtgärder för att optimera säkerhetsnivån med hänsyn till insatserna.



3 Olika säkerhetsåtgärder

Grävskydd och djupförläggning innebär båda en kostnadsökning vid rörförläggning. Materialkostnaden är en del men den största delen utgörs av arbetskostnader. Arbetet tar längre tid och beroende på materialval kan det även krävas både extra utrustning och personal samt innebära ökade transportkostnader. Denna del syftar till att jämföra alternativen avseende kostnadsökning och miljöeffekter för följande alternativ:

- Förläggning med markeringsband (referensscenario)
- Förläggning med skyddsplattor i PE
- Förläggning med skyddsplattor i betong
- Förläggning med skyddsplattor i stål
- Djupförläggning med markeringsband

För gasledningar läggs alltid ett markeringsband för att signalera till grävmaskinister att en ledning finns i marken.

3.1 Utformning av säkerhetsåtgärder

I AMA 10 Anläggning [24] under sektion CEC, definieras hur en ledning skall förläggas med olika fyllnadsmaterial. Rörledningsbädden skall vara 0,15 m tjock av material typ 2 eller 3B enligt Tabell CE/1 i Referens [24] med största kornstorlek 31,5 mm. För kringfyllning kan även material typ 4 tillåtas för läggningsdjup mindre än 2,5 m, men kornstorleken närmast ledningen, 0,15 m ifrån, skall vara mindre än 31,5 mm. Enstaka partiklar kan få vara upp till 63 mm i kringfyllnaden. I stödpackzonen skall materialet dock vara samma som i ledningsbädden. Kringfyllning skall utföras upp till 0,3 m över ledningens hjässa. I EGN 2009 [30] förskrivs att gasledning för 4 bar generellt skall ha en täckning på 1,0 m, men även mindre täckning kan tillåtas i gator (0,8 m) i villaområden, tomtmark och grönområden (0,6 m). I remissutgåvan av EGN 2011 [31] föreslås grävskydd i plast, betong eller stål i form av skyddsror eller grävskyddsplattor. Plattornas bredd skall vara dubbla ledningens ytterdiameter och minst 0,6 m. I en rapport från GESIP [12] föreslås i princip grävskyddsplattor med bredden som 1,0 m större än ledningens diameter. Skyddet skall placeras minst 0,3 m ovanför ledningens hjässa.

Här behandlas ett fall där ett grävskydd i form av en platta föreslås placeras ovanför kringfyllnaden, dvs $d = 0,3$ m ovanför ledningens hjässa. Bredden på plattan föreslås väljas så att omfattande ytterligare schaktning kan undvikas. Den bredd B , som inte medför ytterligare schaktning, beror på släntlutningen k , ytterdiameter D och bredden, $b=0,15$ m, på kringfyllnaden vid ledningen enligt

$$B = (D + 2b) + 2(D + d)/k \quad (1)$$

I Tabell 1 jämförs bredder hos grävskydd enligt Ekvation (1), rapporten från GESIP [12] och remissutgåvan av EGN 2011 [31] för olika stora ledningar och två olika släntlutningar.



3.2 Valda scenarier vid jämförelser

För att studera miljöpåverkan, kostnader och dimensionering av plattor väljs ett basscenario där en gasledning av polyeten av storlek DN160 förläggs på ett djup av 1,0 m med kringfyllnad 0,3 m ovanför hjässan, se Figur 4. Ovanför kringfyllnaden läggs endast ett markeringsband eller en platta av polyeten, betong eller stål samt ett markeringsband. Ytterligare ett scenario är djupförläggning genom att placera ledningens hjässa 2,0 m under marknivån istället för 1,0 m. Plattornas egenskaper anges i Tabell 2.

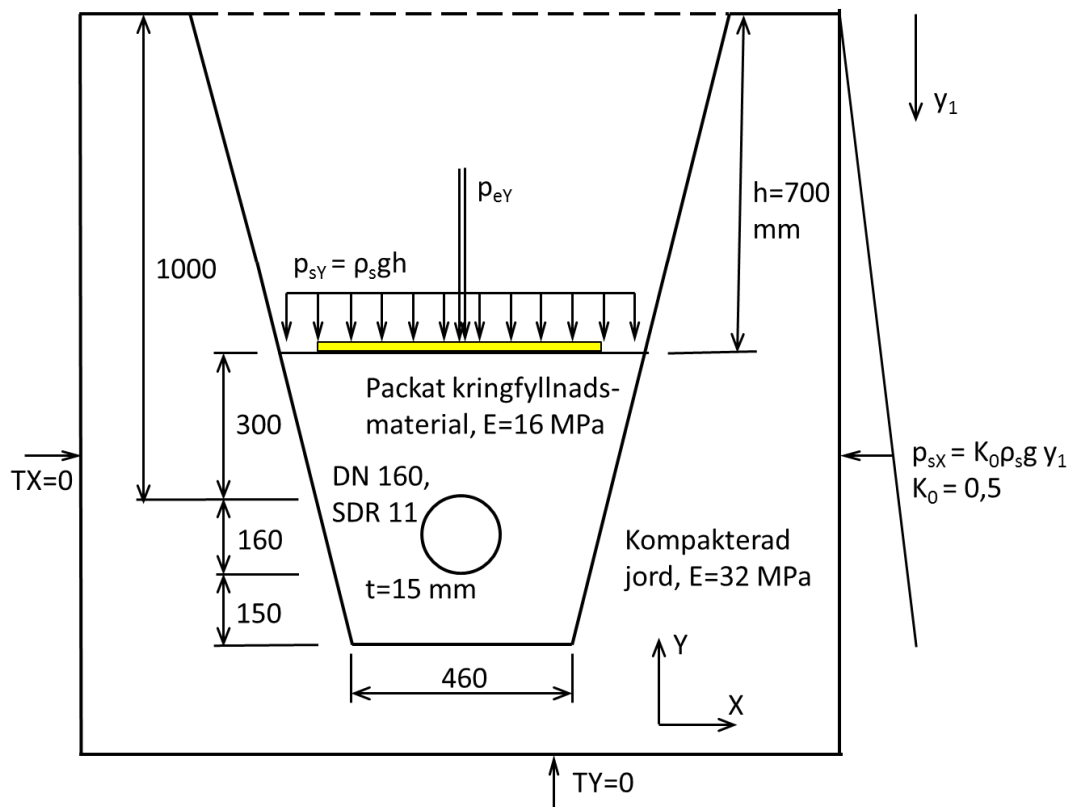
Tabell 1: Bredd på grävskyddsplattor enligt Ekvation (1), Referenserna [12] och [31] vid två olika släntlutningar k . Där den sista referensen berör distributionsnät för 4 bar.

D [m]	k	B [m] enligt (1)	B [m] enligt [12]	B [m] enligt [31]
0,160	2	0,920	1,000	0,600
0,160	4	0,690	1,000	0,600
0,200	2	1,000	1,000	0,600
0,200	4	0,750	1,000	0,600
0,300	2	1,200	1,250	0,600
0,300	4	0,900	1,250	0,600
0,600	2	1,800	1,600	1,200
0,600	4	1,350	1,600	1,200
0,900	2	2,400	1,900	1,800
0,900	4	1,800	1,900	1,800
1,200	2	3,000	2,250	2,400
1,200	4	2,250	2,250	2,400

Tabell 2: Skyddsplattor som här används i olika scenarier. Betongplattorna är armerade centriskt med NPs $\varnothing 10$, c/c 100 mm med massa 12 kg/m^2 . För betong anges tryckhållfasthet istället för flytgräns.

Material	Bredd [mm]	Tjocklek [mm]	Längd [mm]	Densitet [kg/m^3]	E-modul [GPa]	Poissons tal [-]	Sträckgräns [MPa]	Massa [kg]	Kvalitet
Polyeten	600	15	2000	950	1,1	0,4	25	17	HDPE
Betong	600	120	2000	2400	30	0,2	20	357	K25
Stål	600	15	2000	7800	210	0,3	235	140	S235JR
Polyeten	600	20	2000	950	1,1	0,4	25	23	HDPE
Stål	600	20	2000	7800	210	0,3	235	187	S235JR





Figur 4: Sektion av rörgrav med gasledning av DN160 och SDR11 av PE100 material. Ovan ledningen finns ett grävskydd, som belastas av jordtryck p_{sy} och tryck p_{ey} från grävskopa. Förhållandet mellan horisontellt och vertikalt jordtryck antas vara $K_0=0,5$.



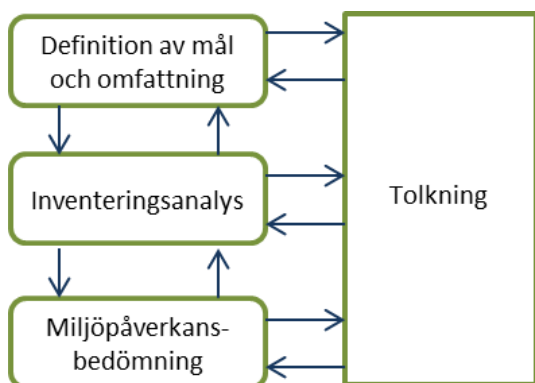
4 Miljöpåverkan och kostnader

En livscykelanalys (LCA) används för att kvantifiera miljöpåverkan från en produkt eller en tjänst. De resurser, råvaror och den energi, som används under en produkts hela livscykel beräknas. Dessutom beräknas alla utsläpp som orsakas under livscykeln. I en så kallad vaggan-till-graven LCA så ingår allt ifrån utvinning av råvaror och bränslen (vaggan) till avfallshantering (grav).

I detta projekt har en förenklad LCA, en screening LCA gjorts, vilket kan fungera som beslutsunderlag vid utveckling av produkter eller processer trots att inte tillräcklig data för att göra en fullständig LCA finns. De grundläggande ramarna för LCA, som beskrivs i standarden ISO 14040:2006 [14], ligger till grund för metoden i projektet.

Här jämförs tre typer av grävskyddsplattor och två scenarier av djupförläggning, se Sektion 3.2 och Tabell 2. Endast PE-plattan och stålplattan av tjocklek 15 mm behandlas. Vid djupförläggning antas att återfyllnad sker med nytt material respektive med befintliga massor. All data kommer från databaser och är inte specifik för någon verklig produkt. Antaganden har gjorts och syftet med studien är att uppskatta vilken lösning, som har minst respektive mest miljöpåverkan och inte att presentera några resultat i exakta siffror.

Figur 5 visar de olika faserna i en LCA. Att definiera ett tydligt mål och omfattning är avgörande eftersom detta kan ha direkt effekt på slutresultatet. När mål och omfattning är definierat kan inventeringsanalysen börja. Det är där uppgifter om alla processer samlas in. Data från inventeringsanalysen bearbetas vidare i en miljöpåverkansbedömning, där data sorteras i olika kategorier beroende på vilken miljöpåverkan de har. Dessa kategorier kan vara exempelvis potentiell växthuseffekt, försurning, övergödning, etc. Genom miljöpåverkansbedömningen kan den totala miljöpåverkan av det studerade systemet tydligare utvärderas. LCA är en iterativ process, och man kan alltid gå tillbaka till en tidigare fas, då mål och omfattning kan behöva omdefinieras eller inventeringsdata kan behöva uppdateras.

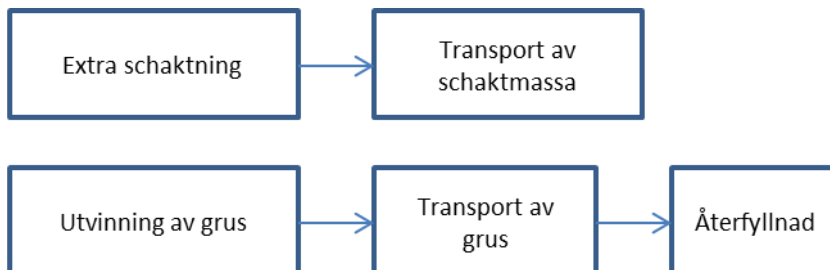


Figur 5: De grundläggande stegen i LCA enligt ISO 14040 [14].





Figur 6: Flödesschema för plattornas livscykel.



Figur 7: Flödesschema för djupförläggning och återfyllnad med nytt grus (Djupförläggning 1).

4.1 Mål och omfattning

Målet med livscykelberäkningarna är att skapa en uppfattning om vilket alternativ av grävskydd och djupförläggning, som genererar mest respektive minst miljöpåverkan. Figur 6 visar vilka olika processer som ingår och inte ingår i analysen av grävskydd. När det gäller avfallshantering så har det antagits att plattorna ligger kvar i marken även efter att röret inte längre används. Eventuella utsläpp från att plattorna, när de är nergrävda är inte inräknade i studien. Alla data på energianvändning och utsläpp är hämtad ur LCA-databaser.

De tre alternativen med grävskyddsplattor jämförts även med två scenarier av djupförläggning där rören läggs 1,0 m djupare. I första scenariet (Djupförläggning 1), se Figur 7, återfylls med nytt grus och i det andra (Djupförläggning 2) återfylls rörgraven med befintliga schaktmassor. I det senare fallet ingår endast extra schaktning och återfyllnad. I dessa fall antas att det schaktas bort 1,3 m³ extra massor per meter rör. Densiteten hos schaktmassorna antas vara 1840 kg/m³. Transporterna antas vara 50 km i vardera riktningen vid Djupförläggning 1.

Data för utvinning av råmaterial och produktion av plattorna har tagits ur LCA-databaserna GaBi professional [10] och Ecoinvent [5]. Dessa data är inte specifik för de material som ingår i plattorna. För stål och betong så har data för kvaliteter använts som är vanliga på marknaden. För plastplattorna återfanns specificerad kvalitet i databasen. Data för tillverkningen av själva plattorna har också tagits ur databaserna och återspeglar inte tillverkning av just grävskydd, utan en genomsnittlig platta som tillverkas i EU.

Den funktionella enheten är ett viktigt begrepp i LCA och den ligger till grund för alla beräkningar som görs för det system eller den produkt som studeras. I denna studie har den funktionella enheten 100 m rör med grävskydd eller djupförläggning valts.

Plattorna skiljer sig åt vad det gäller dimensioner och massa. Massan per funktionell enhet skiljer sig radikalt mellan de olika alternativen. I Tabell 3 visas plattornas dimensioner och massa.



Tabell 3: Plattornas dimension och massa.

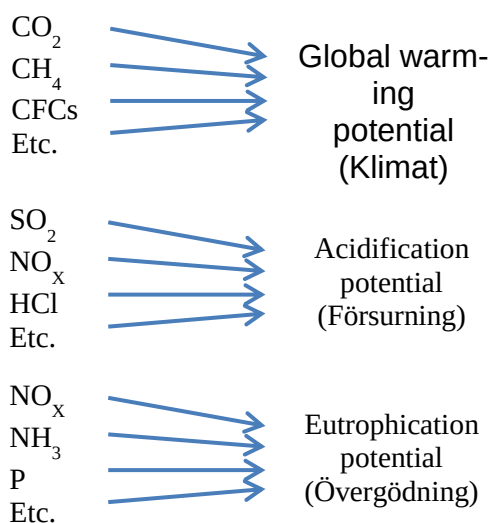
Material	Dimension [mm]	Massa [kg]	Massa per funktionell enhet [kg]
Plast (HDPE)	2000x600x15	17	855
Armerad betong (K25)	2000x600x120	357	18800
Stål (S235 JR)	2000x600x15	140	7020

En transportsträcka på 500 km har lagt in i de tre fallen med grävskyddsplattor för att visa hur belastningen från transporter skiljer sig för de olika plattorna. Transporten sker med en dieseldriven lastbil med en s.k. Euro 5-motor.

För förläggning av plattorna har det antagits att plastplattorna kan läggas ner för hand och det går åt 5 extra timmar att lägga ner betongplattorna och stålplattorna. Under dessa fem timmar antas att en grävmaskin används som drar 12,5 l/h. Detta antagande grundas på en studie av Fröling & Svanström [9], där miljöbelastningen utretts från förläggningen av fjärrvärmerör.

4.2 Miljöpåverkan för olika alternativ

I miljöpåverkansbedömningen omvandlas inventeringsdata till mer miljörelevant information. Det är här som miljöpåverkan från plattorna och djupförläggningen beskrivs. I miljöpåverkansbedömningen grupperas utsläppen i olika inverkans kategorier som beskrivs i Figur 8. I denna studie har påverkan på global uppvärmning, försurning, övergödning inkluderats. Resultaten i alla diagram visas per funktionell enhet.

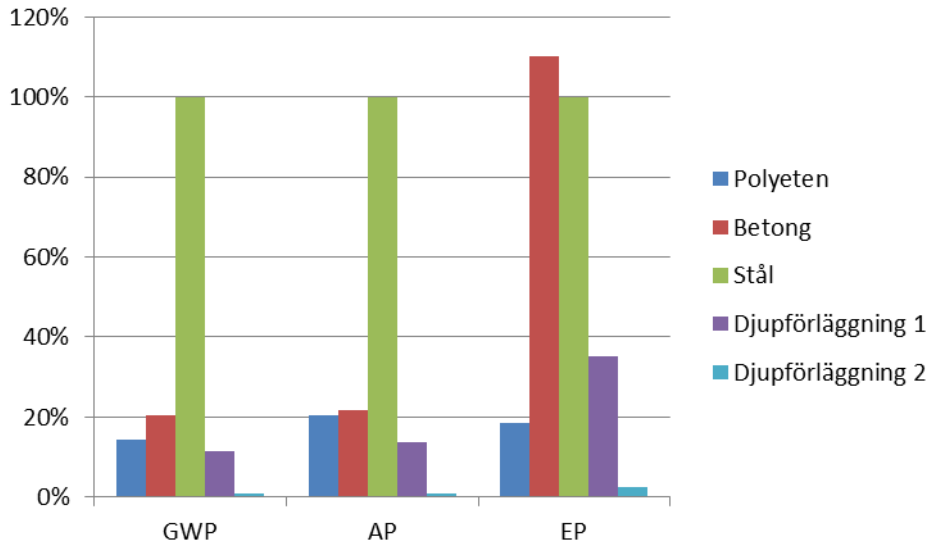


Figur 8: Illustration av hur data aggregeras i LCA, se Referens [2].



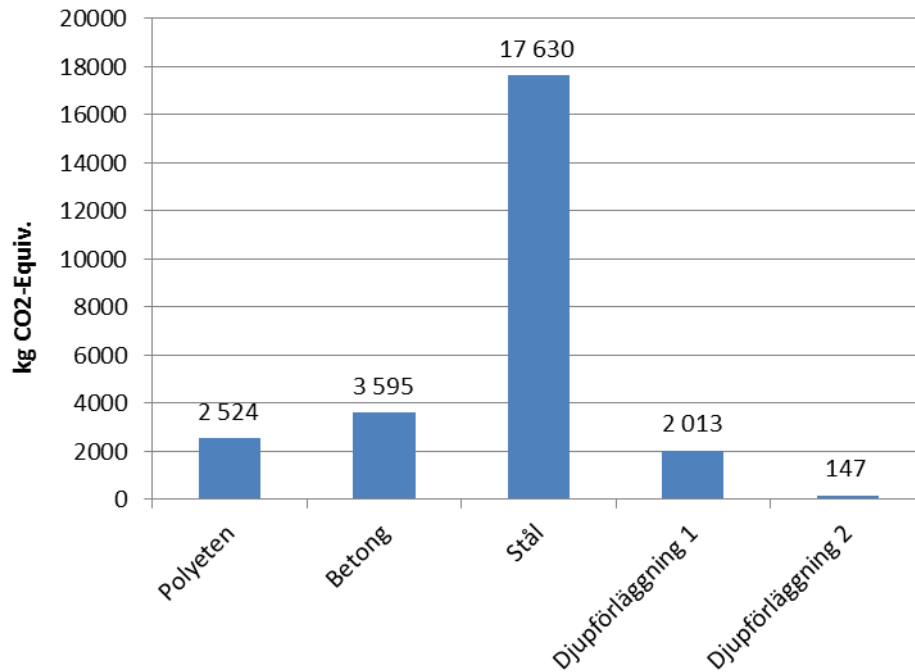
Figur 9 visar en sammanfattning av resultaten. I figuren har resultaten normerats. Utsläppen från stålplattan har satts till 100 % och resultaten för de andra alternativen visas i relation till stålplattan. Som figuren visar så har stålplattan absolut störst påverkan på klimat (GWP) och försurning (AP). Medan betongplattan har större påverkan på övergödning (EP). Att stålplattan får så stora utsläpp som påverkar försurning och klimat beror på den stora mängd energi som används vid materialutvinning och tillverkning av stål. Energianvändningen leder till stora utsläpp av koldioxid och kväveoxider.

I Figur 10 visas i absoluta siffror utsläpp av växthusgaser för de olika alternativen med grävsydd och djupförläggning. För grävsydd ingår utvinning, tillverkning, transport och förläggning. För djupförläggning ingår extra schaktning och återfyllnad, samt i Djupförläggning 1 även utvinning av grus samt transport av schaktmassor och grus. Även här framgår att stålplattor har den absolut största påverkan på klimatet. Figur 11 visar hur stor del av de totala utsläppen av växthusgaser för de olika alternativen, som kommer från materialutvinning och tillverkning samt transport och förläggning eller återfyllnad. Resultaten är normerade och visar inga absoluta värden. Utsläpp från transport och förläggning utgör en betydande del av utsläppen när det gäller betongplattorna, vilket inte är fallet med de två andra plattorna. Detta beror på att betongplattornas massa är mycket större än de andra plattorna. I Djupförläggning 1 står produktion av grus, transporter samt extra schaktning och återfyllnad för ungefär lika delar av utsläppen. I Djupförläggning 2 ingår endast extra schaktningen och återfyllnad, som orsakar utsläpp.

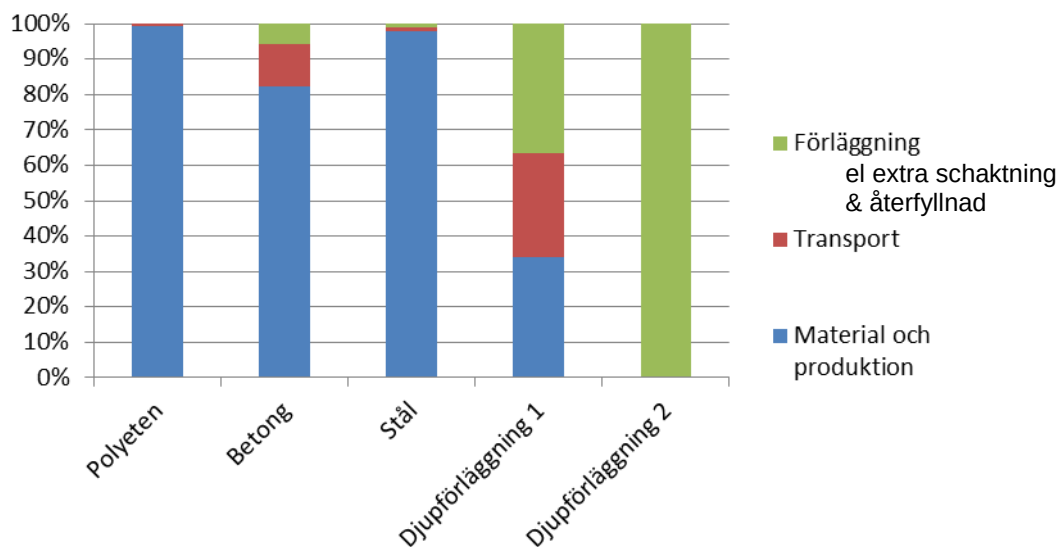


Figur 9: Sammanfattning av miljöpåverkan från olika alternativ, normaliserat utifrån stålalternativet. (GWP=potentiell klimatpåverkan, AP = potentiell försurning, EP=potentiell övergödning,).





Figur 10: Utsläpp av växthusgaser för olika alternativ.



Figur 11: Andelen av växthusgaserna redovisade i Figur 10 kopplade till förläggning (vid djupförläggning handlar det istället om extra schaktning och återfyllnad), transport samt materialutvinning och tillverkning. Resultaten är normerade och det går inte att jämföra de tre staplarna med varandra.

Ur ett miljöperspektiv grundat på de tre miljöpåverkanskategorierna i denna studie så har bland grävskydden det av polyeten minst miljöpåverkan. Detta beror nästan uteslutande på att polyeten inte kräver samma energianvändning vid tillverkning som stål och betong. På grund av den låga densiteten så blir utsläppen vid transport av plastplattorna låg jämfört med betong och stål. Minst miljöpåverkan uppkommer dock vid djupförläggning, eftersom material och energi för tillverkning av



grävskydd utesluts. Det är viktigt att komma ihåg att detta är en screening LCA, vilket gör att absoluta siffror inte ska användas i andra sammanhang.

Med de antaganden som gjorts är djupförläggning det mest miljövänliga alternativet. För grävskydden är slutsatsen att stål är det alternativ som har högst miljöpåverkan till följd av den höga energianvändningen vid utvinning och tillverkning, samt att polyeten har minst miljöpåverkan. Resultat på övergödning och försurning har inte visats i detalj eftersom dessa data är mer osäkra och till stor del beror på vilken reningsteknik som finns vid förbränning av bränslena.

4.3 Kostnader för olika alternativ

Kostnader för de olika förläggningssätten har beräknats, se Tabell 4 och Figur 12, då det antas att befintliga massor kan användas eller nya fyllning krävs. Vad gäller djupförläggning så motsvaras detta av fallen Djupförläggning 2 och 1 i Avsnitt 4.2. När det gäller kringfyllnad och ledningsbädd antas att nytt material krävs. Kostnaderna baseras på indata från Referens [18]. Här ingår kostnader för material, arbete, maskiner, och eventuellt andra omkostnader samt entreprenörsarvoden. Kostnaden för PE-plattan baseras på uppgifter från Overpipe med ett påslag på 32%, som motsvaras 20% av påslaget för stålplattan.

I Appendix A redovisas en jämförelse av uppskattade relativa kostnader i arbetsdagar för komplettering av två befintliga parallella gasledningar i dimension $\varnothing 300$ mm samt $\varnothing 500$ mm om 800 m med skyddsplattor av plast och betong. Från Appendix A ses direkt att betongplattor ger betydligt högre kostnad än sådana av plast då det gäller läggning och transport. Priserna för plast- och betongplattor skiljer också till plastens fördel men inte lika mycket (50 €/m^2 respektive 70 €/m^2 , se Referens [3]). Den relativa jämförelsen de totala resurserna som fordras ges i Tabell 5.

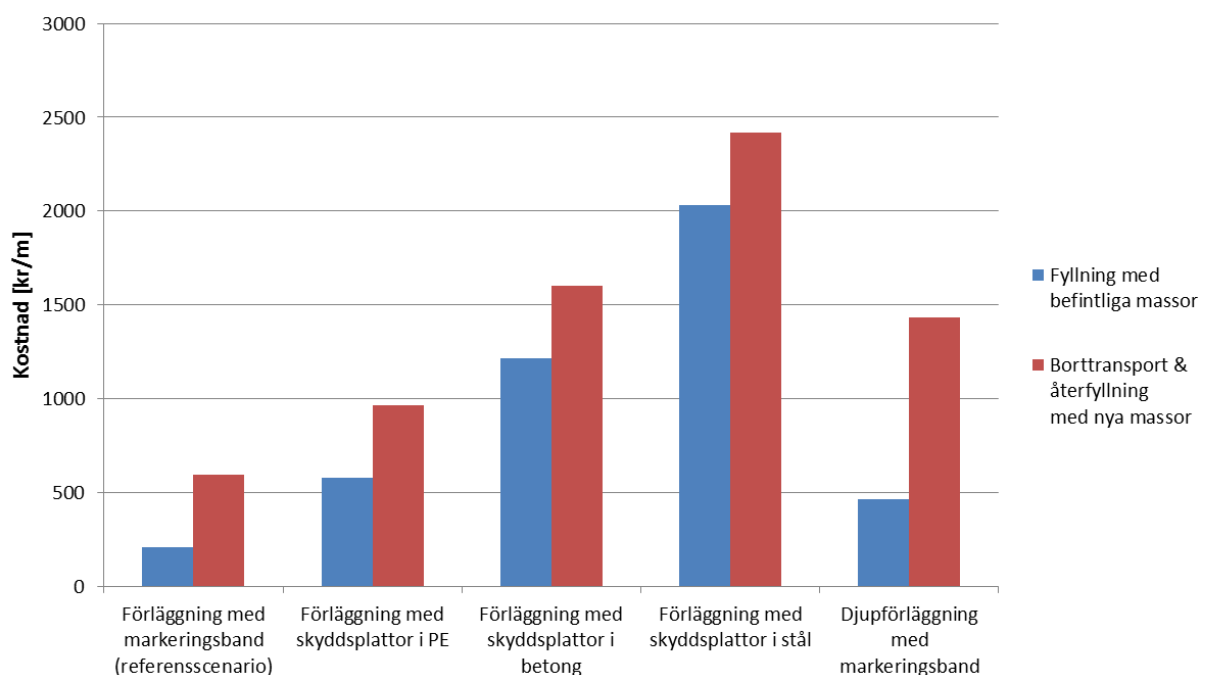
Tabell 4: Kostnader [kr/m] för olika alternativ med en rörgrav enligt Figur 4. Vid djupförläggning ökas djupet med 1,0 m. Här ingår inte återställande av ytskikt eller själva röret. Endast PE-platta och stålplatta av tjocklek 15 mm beaktas.

	Fyllning med befintliga massor	Borttransport & återfyllning med nya massor
Förläggning med markeringsband (referensscenario)	210	600
Förläggning med skyddsplattor i PE 15 mm	580	960
Förläggning med skyddsplattor i betong	1200	1600
Förläggning med skyddsplattor i stål 15 mm	2000	2400
Djupförläggning med markeringsband	460	1400



Tabell 5: Jämförelse av resurser vidläggning av PE- och betongplattor på en sträcka om 800 m, se Appendix A och Referens [26].

	PE	Betong	Relation
Massa [ton]	14,5	300	20,7
Grävmaskin [dagar]	8	13	1,6
Lastbilar [resor]	1	14	14,0
Tjänsteman [dagar]	3	19	6,3
Arbetare [dagar]	21	53	2,5



Figur 12: Kostnader [kr/m] för olika alternativ med en rörgrav enligt Figur 4. Vid djupförläggning ökas djupet med 1,0 m. Här ingår inte återställande av ytskikt eller själva röret. Endast PE-platta och stålplatta av tjocklek 15 mm beaktas.



5 Dimensionering av plattor

5.1 Grävmaskiner och skopor

I del 1 av projektet var fokus på förläggning av ledningar i tätbebyggda områden och då framkom att grävmaskinerna inte var större än 17 ton. Maximal brytkraft uppgavs vara 124 kN, se rapporten av Karlsson [6]. Här inkluderas även grävarbeten på landsbygd och då krävs en utvidgning som innefattar även de grävmaskiner som används där. Det finns väldigt stora grävmaskiner, men här fokuseras på att inkludera de flesta maskinerna. Om man tittar på försäljningsstatistik för 2012 i Sverige av grävmaskiner så är 94% av samtliga sålda grävmaskiner mindre än 33 ton, se Referens [6]. Här väljs 33 ton som en övre gräns för de grävmaskiner som beaktas. Med detta val bedöms att mindre än 10% av samtliga grävmaskiner har exkluderats.

I Tabell 6 beräknas trycket från två typer av skopor och två typer av grävmaskiner, där den mindre är maximal storlek i tätort och den större innefattar 94% av alla levererade maskiner 2012. I tätort antas att grävskopor utan tänder används medan utanför kan både skopor med och utan tänder förekomma. Även om tänder på skopor skulle penetrera grävskyddsplattorna så förblir ledningen intakt om plattan kan förhindra vidare penetration. För att studera påverkan på ledningen med beräkningar, anses det vara relevant att använda samma last för både en skopa med och utan tänder. För att studera plattors motstånd mot penetration av skopans tänder och kant krävs fysiska experiment. I Tabell 6 antas att kanten som trycker på platta har tjockleken 10 mm. Två typer av skopor betraktas och det maximala kontakttrycket på plattan är mindre än 30 MPa, då det antas att trycket är jämnt fördelat.

Tabell 6: Maximala brytkrafter för två storleksklasser av grävmaskiner från Volvo, se Referenserna [28] och [29] och tryck från två olika skopor, se Referens [25]. Skopans godstjocklek i framkant har antagits till 10 mm.

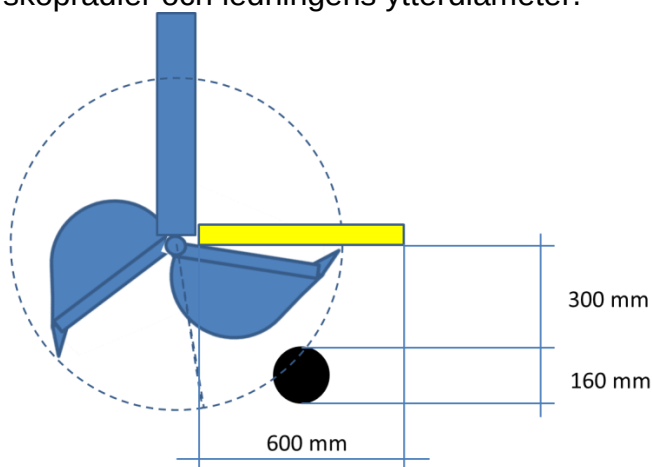
Klass [ton]	Maximal brytkraft [kN]	Antagen tjocklek på skop- kant [mm]	Djupgrävskopa			Smalskopa		
			Skop- bredd [mm]	Tryck [MPa]	Vo- lym [m ³]	Skop- bredd [mm]	Tryck [MPa]	Vo- lym [m ³]
16- 20	121	10	1000	12,1	0,90	600	20,2	0,50
24- 33	205	10	1300	15,8	1,55	700	29,3	0,60



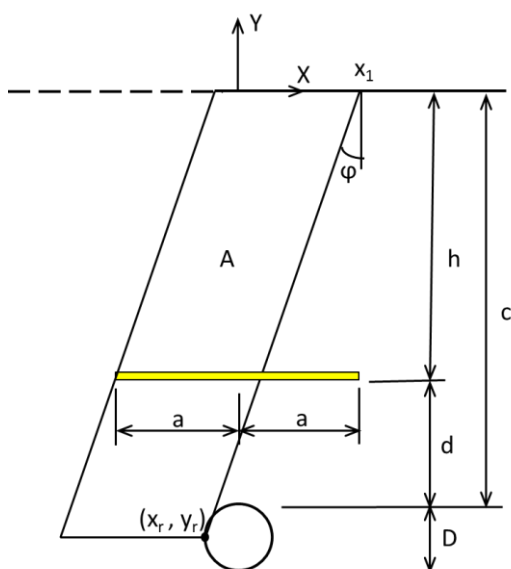
5.2 Geometriska aspekter

Ett grävskydd går inte att utforma så att alla grävsador på en ledning kan undvikas. Det handlar dels om att grävskyddet skall vara tillräckligt intakt för att förhindra att skopan når ledningen, dels om att skyddet skall vara geometriskt utformat så att skopan inte kan nå ledningen när grävskyddet är installerat.

I Figur 13 visas ett scenario vid grävning som är svårt att skydda sig emot. Grävskopan är positionerad så att den vrids kring ett centrum alldeles intill plattan. Skopradierna är 1,3 m och 1,6 m för Volvos maskiner av storlek 16-20 ton respektive 24-33 ton, se Referenserna [28] och [29]. Betraktar man detta rent geometriskt skulle grävskyddet behöva ha en bredd i det närmaste lika med summan av två skopradier och ledningens ytterdiameter.



Figur 13: Geometrisk betraktelse av möjligheten för en grävskopa att nå ledning förlagd under grävskyddsplatta.



Figur 14: Skiss av scenario där grävskopa schaktar bort massor mellan marknivå och rörets nivå. Schaktvolymen som kan tas nästa tag ges av arean A och skopans bredd b utan att skada ledningen.



Tabell 7: Beräknade erforderliga bredder $2a$ på grävskyddsplatta, då röret är förlagt på djupet c och avståndet mellan platta och rör är d . Här betecknas släntlutningen ϕ , skopans volym V och bredd b . Rörets dimension D är 160 mm. Fallet med horisontell täckning av röret i Figur 15 ges av $\tan\phi = \infty$ och de övriga raderna behandlar fallet i Figur 14.

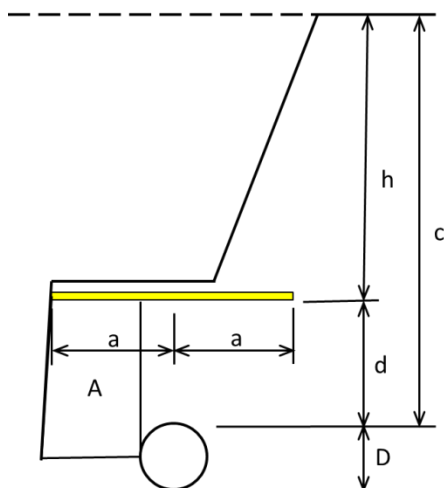
c [m]	d [m]	$\tan \phi$	V [m ³]	b [m]	$2a$ [m]
1,0	0,3	0,25	1,55	1,3	2,18
1,0	0,3	0,50	1,55	1,3	1,99
1,0	0,5	0,25	1,55	1,3	2,08
1,0	0,5	0,50	1,55	1,3	1,79
1,0	0,7	0,25	1,55	1,3	1,98
1,0	0,7	0,50	1,55	1,3	1,59
1,0	0,3	0,25	0,90	1,0	1,64
1,0	0,3	0,50	0,90	1,0	1,45
1,0	0,5	0,25	0,90	1,0	1,54
1,0	0,5	0,50	0,90	1,0	1,25
1,0	0,7	0,25	0,90	1,0	1,44
1,0	0,7	0,50	0,90	1,0	1,05
2,0	0,3	0,25	1,55	1,3	1,12
2,0	0,3	0,50	1,55	1,3	0,93
2,0	0,5	0,25	1,55	1,3	1,02
2,0	0,5	0,50	1,55	1,3	0,73
2,0	0,7	0,25	1,55	1,3	0,92
2,0	0,7	0,50	1,55	1,3	0,53
2,0	1,0	∞	1,55	1,3	2,22
2,0	0,3	0,25	0,90	1,0	0,84
2,0	0,3	0,50	0,90	1,0	0,65
2,0	0,5	0,25	0,90	1,0	0,74
2,0	0,5	0,50	0,90	1,0	0,45
2,0	0,7	0,25	0,90	1,0	0,64
2,0	0,7	0,50	0,90	1,0	0,25
2,0	1,0	∞	0,90	1,0	1,64

Ett annat sätt att analysera hur bred en grävskyddsplatta bör vara är att utgå från olika schaktscenarier. Antag att plattan är dold och att grävmaskinisten försöker fylla skopan i ett tag. Grävskyddet fungerar om skopan kan fyllas utan att komma åt ledningen. I Figur 14 skissas ett scenario där en rasslänth schaktas bort successivt. Skopan förs parallellt med rasslänthen som ges av vinkeln ϕ . Det mest kritiska fallet fås när schaktning sker mellan rörets nivå och marknivån. Antag att proportionerna är sådana att man approximativt kan anta att den kritiska punkten (x_r , y_r) på röret är den längst till vänster.

Volymen V som skopan får fylla ges av

$$V = A b = |y_r| [(a - h \tan \phi) + x_1] b \quad (2a, b)$$





Figur 15: Skiss av scenario där grävska schaktar bort material successivt. När plattan är dold kan skopan i nästa tag schakta bot volymen som ges av arean A och skopan bredd b utan att skada ledningen.

$$x_1 = x_r + |y_r| \tan \varphi \quad (3)$$

där romben har arean A, skopan har bredden b, grävskyddet har bredd 2a, och koordinaten x_1 visas i Figur 14. I betraktelsen antas plattan vara tunn.

I Tabell 7 bestäms tillräcklig bredd 2a på grävskyddet för två olika skopor, två olika förläggningsdjup på ledningen och två olika vinklar på rasslanten (1:4 respektive 1:2). Avståndet d mellan plattan och röret varierar mellan 0,3 m, 0,5 m och 0,7 m.

Ur Tabell 7 framgår att det är en fördel att placera plattan långt från röret. Det krävs mycket breda plattor för att skydda ledningen när den ligger förlagd på djupet 1,0 m och då den stora djupgrävska avsedd på 33 tons grävmaskiner. För samma förläggningsdjup kan mindre breda plattor användas då avståndet från plattan ökas till 0,7 m för att skydda ledningen mot den mindre djupgrävska som används för grävmaskiner av storleken 20 ton. I Tabell 7 behandlas även djupförläggning i kombination med en grävskyddsplatta, vilket leder till att plattans bredd kan minskas och mer rimliga bredder krävs för att skydda ledningen mot även den stora skopan.

Även fallet i Figur 15 behandlas med två rader med " $\tan \phi = \infty$ " i Tabell 7. I detta scenario schaktas material bort så att hålet avslutas horisontellt. Det mest kritiska fallet skulle kunna uppstå när materialet bredvid grävskyddsplattan och det som legat ovan plattan är borta till största del, men plattan är fortfarande dold. På samma sätt som tidigare är det volymen, som motsvaras arean A och skopans bredd b som kan tas bort utan att ledningen nås. Även när avståndet mellan plattan och röret är 1,0 m krävs i detta fall mycket breda plattor för båda typerna av skopor. Bredderna 2a i Tabell 7 kan jämföras med bredderna B i Tabell 1.



I dessa betraktelser finns inte det scenario med att platta blottläggs och upptäcks innan skadan på ledningen kan uppkomma. Sannolikheten att träffa ledningen med skopan minskar i vart fall då grävning förhindras på vissa positioner genom att platta ger ett fysiskt motstånd och den kan upptäckas innan ledningen kan nås.

5.3 Analys av grävskydd, mark och rör

En sektion av en rörgrav med en gasledning, som skyddas med grävskyddplattor av olika material, har analyserats, se Figur 4 igen. Gasledningen har dimensionen DN160, kvaliteten PE100 och SDR11, vilket gör att ledningen är klassificerad för gas med 10 bar. Här har det operativa trycket valts till 10 bar. Materialdata för polyeten i ledningen och i grävskyddsplattorna, samt för stål och betong ges tillsammans med dimensioner i Tabell 2. Plattorna av polyeten och stål modelleras som ett elasto-plastiskt material utan hårdnande med sträckgräns enligt Tabell 2. Betongen modelleras här endast som linjärt elastiskt material.

För jordmaterialet används en plastisk materialmodell enligt Mohr-Coulomb. Fyllnadsmaterialet i rörgraven anses vara mindre styvt än det omgivande materialet, se Tabell 8. Kohesionen är 1 MPa, vilket innebär att materialet håller för den skjuvspänningen utan hydrostatiskt tryck. Den inre friktionen i materialet ges som tangens av friktionsvinkeln. Dilatationsvinkeln är kopplad till materialets volymändring.

Grävskyddsplattan belastas med ett konstant tryck av 30 MPa på en bredd av 10 mm, som simulerar trycket av en skopa. Kontaktelement används mellan grävskyddsplatta, och jordmaterial samt mellan PE-rör och jordmaterial. Fyllnadsmaterialet ovanför plattan simuleras som ett vertikalt tryck (12,6 kPa) på grävskyddsplattan.

En plan modell av rörgraven analyseras i plant deformationstillstånd, dvs töjningen tvärs sektionen (längs med ledningen) är noll. Varje tvärsnittssektion upplever samma belastning, som om de vore ett stort antal skopor som belastar grävskyddet längs med ledningen.

Resultaten för Fall 1 med en platta av polyeten med tjocklek 15 mm visas i Appendix B. I Figur B 1 visas effektivspänningar i plattan, röret och jordmaterial. Stora spänningar jämfört med sträckgränsen 25 MPa för PE uppkommer vid lasten, se Figur B 2. Den plastiska töjningen i plattan överskrider 100% vilket är lite när PE kan ha en brottöjning på c:a 600%, Figur B 3. Effektivspänningar alldeles över 15 MPa i PE-röret ses i Figur B 4. Liknande resultat för en platta av polyeten med tjocklek 20 mm (Fall 4) visas i Appendix C.

Resultaten för Fall 2 med en platta av betong med tjocklek 120 mm visas i Appendix F. I Figur F 1 visas effektivspänningar i plattan, röret och jordmaterial. Stora spänningar jämfört med dragbrottgräns på ca 3 MPa för betongen uppkommer i plattans underkant. I detta fall med centrisk armering kommer betongen att spricka upp i underkant. Effektivspänningar alldeles över 10 MPa i PE-röret ses i Figur F 2, men detta är egentligen missvisande eftersom betongen kommer att spricka i underkant. När betongen spricker kommer armeringsnätet att motverka fortsatt penetration.



Tabell 8: Egenskaper hos fyllnadsmaterial kring ledning och omgivande kompakterat material.

Material	E-modul [GPa]	Poissons tal [-]	Friktingsvinkel [°]	Dilatationsvinkel [°]	Kohesion [MPa]	Densitet [kg/m ³]
Fyllnadsmaterial	16	0,3	40	6	1	1840
Kompakterat material	32	0,3	40	6	1	1840

Resultaten för Fall 3 med en platta av stål med tjocklek 15 mm visas i Appendix D. I Figur D 1 visas effektivspänningar i plattan, röret och jordmaterial. Stora spänningar jämfört med sträckgränsen 235 MPa för stålet uppkommer igenom hela plattans tjocklek vid lasten, se Figur D 2. Den plastiska töjningen i plattan blir lokalt 3% vilket är lite när stålet har en brotttöjning på c:a 25%, se Figur D 3. Effektivspänningar strax över 10 MPa i PE-röret ses i Figur D 4.

Resultaten för Fall 5 med en platta av stål med tjocklek 20 mm visas i Appendix E. I Figur E 1 visas effektivspänningar i plattan, röret och jordmaterial. Stora spänningar jämfört med sträckgränsen 235 MPa för stålet uppkommer i plattans ytterfibrer, se Figur E 2. Den plastiska töjningen i plattan blir lokalt 0,16 % vilket är lite när stålet har en brotttöjning på c:a 25%, se Figur E 3. Effektivspänningar alldeles över 10 MPa i PE-röret ses i Figur E 4.

Driftstrycket på 10 bar är inkluderat i beräkningarna och det ger en spänning på 4,3 MPa. Den valverkan, som kringfyllnaden ger upphov till, skyddar röret mot belastningen från grävs kopan. En styvare platta av betong eller stål är gynnsamt för belastningen på röret, men inga kritiska spänningar uppkommer i något fall när sträckgränsen för polyeten materialet är 25 MPa.

5.4 Analys av buckling av grävskydd vid horisontell schaktning

I Avsnitt 5.2 behandlades ett scenario där material schaktas bort så att hålet avslutas horisontellt. Erforderlig bredd hos grävskyddet bestämdes genom att den bortschaktade volymen skulle fylla en skopa och grävskyddet skulle därefter upp-täckas och schaktningen avbrytas. I denna betraktelse antas grävskyddet ge vika vid belastningen av skopan.

Detta antagande kan vara rimligt för ett grävskydd av polyeten, men är onödigt konservativt för betong eller stål. Det krävs dock armering för att hålla ihop betong plattorna och då företrädesvis två lager. Antag att önskad livslängd är 50 år där skulle det krävas ett täckskikt på 30 mm för korrosionskänslig armering vid exponeringsklass XC2 vilket gäller för grundläggningar enligt BBK, SS-EN206-1:2000 och SS 137010. Om betongplattans tjocklek fortfarande är 120 mm skulle armeringsnäten komma på avståndet 40 mm från varandra. Vid livslängd 100 år krävs ytterligare ökning av täckskiktet med 5 mm. I Tabell 9 har bucklingslaster beräk-



nats, vilka skall jämföras med grävmaskinernas brytkrafter på 121 kN och 205 kN för upp till 20 ton respektive 33 ton, se Tabell 6. Bucklingslasterna har bestämts utgående ifrån en linjär analys med

$$P_c = \pi^2 \frac{EI}{4a^2} \quad (4)$$

För stål och betong erhålls höga bucklingslaster. Om betongen spricker upp vid belastning kan man inte tillgodoräkna sig hela tjockleken, men även om man endast kan tillgodoräkna sig en tjocklek på 40 mm så erhålls även höga bucklingslaster för detta fall.

Tabell 9: Bucklingslaster för grävskyddplattor. Fallet med betongplatta av 40 mm avser ett fall där bara 40 mm av plattans tjocklek kan tillgodoräknas.

Material	Bredd [mm]	Tjocklek [mm]	Längd [mm]	E-modul [GPa]	Kvalitet	P _c [MN]
Polyeten	600	15	2000	1,1	HDPE	0,017
Betong	600	120	2000	30	K25	240
Stål	600	15	2000	210	S235JR	3,2
Polyeten	600	20	2000	1,1	HDPE	0,040
Stål	600	20	2000	210	S235JR	7,7
Betong	600	40	2000	30	K25	8,8



6 Diskussion

I Referens [7] ges en översikt över tillståndet i Europa vad gäller lagstiftning kring pipelines i tabellform se Appendix G. Sverige har förhållandevis få regler i förhållande till t ex Finland. Norge och Danmark har ju också mer olja och gas att hantera. Färre regler behöver dock inte betyda att säkerheten är sämre.

Frankrike är ett av de länder som förefaller ha stark och medveten utveckling inom området, vilket bekräftades av studiebesöket och av den litteratur som har samlats. Här finns sedan fyra år en lagstiftning som ger tydliga krav på dels att en riskanalys skall genomföras av ledningsägaren, dels att krav på skydd ställs och att dessa skall vara godkända för att erhålla vissa riskreduktionsfaktorer. Man håller på att anpassa sig till dessa krav både för nya och för existerande ledningar. Man använder i ökande utsträckning skyddsplattor av HDPE (även återvunnen sådan) och de tidigare använda plattorna av betong minskar. Dessa kan användas där höga marktryck befaras. Det finns väl utvecklade kommersiella system av plattor och fogningssystem för dessa. De har provats ut och visat sig fungera minst lika bra som betongplattor. De har dessutom ett högt signalvärde genom sin avvikande färg.

Det finns även andra krav som syftar till att ge god säkerhet, såsom information, anmälningsskyldighet, utmärkning av ledning ovan mark, mm. Åtgärderna kopplas genom riskanalys till krav på skyddsavstånd för olika infrastrukturer och typer av pipelines. Vid en vidare utredning om hur regler och krav på grävskydd för gasledningar skall utformas i Sverige är denna komplexa bild väsentlig att ha i minnet.



7 Slutsatser

Inte oväntat visar de gjorda analyserna av miljökonsekvenser och kostnader samma sak som man funnit i Frankrike, att skyddsplattor av plast jämfört med andra typer av plattor både ger lägre miljöpåverkan och väsentligt lägre kostnader. Stålpplattor är dyra och ger hög miljöpåverkan, och kan komma i fråga endast vid speciella tillfällen och platser.

Något mer attraktivt jämfört med stål är plattor av betong ur både miljö- och kostnadsperspektiv. Betongplattor kan vara ett alternativ när rören behöver skyddas mot höga belastningar. När det gäller betongplattor har det i denna studie antagits att dessa prefabriceras och transporteras till ledningsgraven. Ett annat tillvägagångssätt är att gjuta plattorna på plats i prefabricerade former. Miljöpåvekan av transporten är relativt liten, vilket gör att slutresultatet gällande miljöpåvekan inte förändras. Även förändring av kostnader bedöms som relativt liten om platsgjutning istället används.

Djupförläggning är ett annat alternativ som ur miljösynpunkt är attraktivt, men samma säkerhet anses inte uppnås som med grävskyddsplattor. Djupförläggning kan kombineras med ett yttre skydds rör, vilket inte har undersökts närmare här. Ett annat sätt är att åstadkomma djupförläggning är att använda styrd borring. Detta fall har inte återfunnits i de påträffade referenserna, och har heller inte beaktats här, men detta är ett intressant alternativ som eventuellt kan tas upp i ett efterföljande projekt.

De finita elementanalyser som gjorts visar att plastplattor deformeras under koncentrerat tryck även om de inte brister. Den valvverkan som kringfyllnaden ger skyddar det underliggande röret, och spänningarna i detta blir inte nämnvärt högre än för styvare plattor av betong eller stål. Under vissa ogynnsamma förhållanden kan plastplattan i sig självt dock inte hindra att krafter förs vidare ner genom marklager och påverkar det underliggande röret. En plastplatta kan relativt lätt buckla då en grävska angriper den från sidan. I sådana speciella fall har betongplattor en fördel. Både plast- och betongplattor ges dock samma, mycket gynnsamma, riskreduktionsfaktor (0,01) i Frankrike.

Experiment i full skala gjorda i bl a Frankrike visar att plastplattor motstår höga krafter, som de från grävmaskinskopor med tänder. För vissa plattor sker vid experiment penetration vid tänderna. Följden blir endast att plattan möjligen följer med upp och ger en tydlig signal till föraren eller ligger kvar och fortsatt skyddar röret. Betongplattor brister också, men armeringen håller samman bitarna, så att röret skyddas.

Den skyddande effekten vid olika extrema scenarier av grävning har studerats med enkla modeller. De troligaste verkliga fallen är kanske inte att man träffar skyddsplattor rakt uppifrån vid arbete i närheten av en ledning. Det värsta som kan inträffa torde vara, att man gräver en grop mot vinkelrätt ledningen, och att skopet taget just före det som riskerar pågrävning nästan kommit fram till skyddsplattan.



Modellerna ger vid handen att skopor från stora maskiner riskerar att träffa ledningen innan eller nästan samtidigt som skyddsplattan om inte föraren är försiktig och gräver med lågt kapacitetsutnyttjande. De studerade grävscenarierna visar att det är en fördel om plattan ligger högre upp från ledningen än de 0,3 m som för närvarande tillämpas i olika länder. Om man tänker sig ett scenario med schaktning från sidan, så är det dock inte bra om avståndet är långt mellan plattor och ledning, eftersom det då finns en risk för schaktning mellan grävskydd och ledning.

Några slutsatser som kan dras är:

- Plattor av polyeten som finns tillgängliga kommersiellt uppfyller höga krav på hållfasthet. De är billigare och ger mindre miljöpåverkan än betongplattor. De är inte fullt lika bra vid risk för pågrävning från sidan, men ges i Frankrike samma riskreduktionsvärde och de bör kunna användas brett i Sverige.
- Plattor av betong kan vara ett alternativ för att skydda rören mot höga belastningar från fordon.
- Plattor av stål har nackdelar både gällande kostnader och miljöpåverkan.
- Grävskydd i form av skyddsplattor är ett bra sätt att skydda ledningar. De ger ett högre skyddsvärde än djupförläggning då djupet ökas till 2,0 m.
- Djupförläggning då djupet ökas till 2,0 m är attraktivt ur kostnads- och miljösynpunkt då befintliga massor kan användas vid återfyllnad.
- Det finns mycket att hämta från andra länder som av tradition har mera pipelines och som har utvecklat sina system under längre tid.



8 Förslag till fortsatt arbete

8.1 Styrd borrning

De gjorda analyserna av miljökonsekvenser och kostnader kompletteras med alternativet djupförläggning med hjälp av styrd borrning.

8.2 Riskreduktion

Det råder en kunskapsbrist på hur mycket risken för en olycka minskar vid olika typer av grävskydd och djupförläggning. Det finns i hittade referenser reduktionsfaktorer för olika åtgärder, men motiven till hur dessa valts borde undersökas djupare genom vidare litteraturstudier och statistiska modeller. Grävskyddsplattornas effekt bör sättas i relation till andra åtgärder som tillämpas i Sverige och Europa för att öka säkerheten. Även underlaget för riskreducering vid andra åtgärder bör granskas.

Ett antal typfall borde definieras. Två fall skulle kunna definieras som i tätort och utanför tätort. Riskanalyser bör göras för dessa och eventuellt ytterligare typfall, som kan användas vid projektering av nya ledningar, uppgradering av sökerheten för vissa delar av ett ledningsnät eller som underlag för nya föreskrifter. Olika åtgärder, såsom grävskyddsplattor, djupförläggning, markeringar ovan markytan, utbildning, anmälningsplikt, mm, kvantifieras i form av riskreducering. Riskanalyserna kan vara inriktade på risken för en allvarlig olycka vid pågrävning av en gasledning, men även avbrott på andra slags markförlagda ledningar.

För att analysera effekten av grävskyddsplattorna behövs ett statistiskt underlag för storlekar på grävmaskiner, som används i dessa miljöer, tas fram. Baserat på detta underlag kan en fördelning av skopvolym tas fram för respektive miljö. Olika enkla modeller av schaktning har använts i det nu avslutade projektet, men ytterligare fall kan behöva definieras. Utgående ifrån dessa fall görs statistiska modeller över hur mycket som schaktas bort i varje tag och hur dessa sträcker sig horisontellt och vertikalt. Dessa modeller måste grundas på observationer av schaktning i fält i pågående projekt för utbyggnad eller underhåll av markförlagda ledningar.

Modellerna av schaktning kan sedan användas för att kvantifiera hur sannolikt skopan träffar grävskyddet så att det fungerar som tänkt eller hur sannolikt det är att ledningen ändå träffas av skopan. Detta kan sedan jämföras med hur stor sannolikheten är att träffa en ledning utan grävskydd. Med hjälp av modellerna kan olika positioner och bredder på grävskyddsplattan utvärderas. En utmaning är att bygga upp lagom komplexa statistiska modeller, vilka ger en tillräckligt detaljerad beskrivning av grävningen och är tillräckligt enkla för att kunna användas utifrån tillgängliga data.

Även riskreduktionen vid djupförläggning är av intresse att studera. Detta kan eventuellt göras utgående ifrån fördelning av djup på olika schakt som görs i respektive utanför tätort.



8.3 Fältförsök

Det kan också vara av intresse få en bättre kunskap om när ett grävskydd fungerar. Detta skulle kunna simuleras under fältmässiga förhållanden, genom att plattor grävs ned och att man därefter schaktar. Studierna görs för att få reda på i vilka situationer som plattan blir synlig för grävmaskinisten och när slutar grävmaskinisten att gräva.

8.4 Polyetenplattornas hållfasthet

Tidigare har ett förslag till fortsättning skrivits, där bl a pågravning uppifrån togs upp. Detta har undersökts i både Frankrike och i Schweiz, men det kan vara av vikt att utforma test för att godkänna olika plattor för användning i Sverige. Vikten av test ökar när återvunnet material används.

8.5 Förslag på riktlinjer

Utgående ifrån gjorda studier formuleras riktlinjer för hur grävskyddsplattor bör utformas och läggas i samråd med MSB och SGC.



Referenser

- [1] D Attwood et al, Human factors influences on pipeline damage - discussion of a two-year project to reduce damage incidents, Proceedings 18th JTM, San Francisco, CA 2011.
- [2] H Baumann & A-M Tillman, The Hitch Hiker's Guide to LCA, ISBN 91-44-02364-2, Lund, 2004.
- [3] P Billet & G Pognonec, Two mechanical protections for natural gas transmission pipelines, IGRC, Paris 2008.
- [4] Deltatec, www.deltatec.ch
- [5] Ecoinvent database v 2.2, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2012.
- [6] S Eldh, Swecon Anläggningsmaskiner AB, privat kommunikation, 2012-12-20.
- [7] European Commission, Directorate-General Environment, Assessing the case for EU legislation on the safety of pipelines and the possible impacts of such an initiative, Final Report, ENV.G.1/FRA/2006/0073.
- [8] Frankrike, Journal officiel de la République française (JORF) n°214 du 15 septembre 2006.
- [9] M Fröling & M Svanström, Miljöbelastning från läggning av fjärrvärmerör, Rapport FOU 2002:60, Fjärrvärmeföreningen, 2002.
- [10] GaBi, PE International, 2006.
- [11] GESIP, Rapport 2008/01, Guide méthodologique pour la réalisation d'une étude de dangers concernant une canalisation de transport, 2008.
- [12] GESIP, Rapport 2008/02, Section 2.2, Groupe d'Étude de Sécurité des Industries Pétrolières et Chimiques, 2008.
- [13] J V Haswell, m fl New UK pipeline risk assessment codes – IGEM TD/2 and PD 8010 Part 3, Symposium Series No. 155, Hazards XXI, IChemE 2009.
- [14] ISO, Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework, ISO 14040, International Standards Office, Bryssel 2006.
- [15] L Karlsson, Grävsydd och djupförläggning som riskreducerande åtgärder vid förläggning av 10 bars PE-rörsystem, Rapport SGC 239, 1102-7371, ISRN SGC-R-239-SE, 2011.
- [16] J Kemmler m fl, Sicherheit von Erdgashochdruckanlagen, Rahmenbericht zur standardisierten Ausmassseinschätzung und Risikoermittlung, Revision 2010, Schweizerische Erdgaswirtschaft, Zürich 2010.
- [17] R Konersmann, C Kühl & J Ludwig, On the risks of transporting liquid and gaseous fuels in pipelines, Rapport 289, BAM, Berlin 2009.
- [18] B Lotfi, Byggsanalys, privat konsultation 2013-01-10.



- [19] J Mather m fl, An assessment of measures in use for gas pipelines to mitigate against damage caused by third party activity, Rapport 372/2001, WS Atkins Consultants, Warrington GB 2001.
- [20] W K Muhlbauer, Pipeline Risk Management Manual - Ideas, Techniques, and Resources, Third Edition, Elsevier, Burlington, MA, 2004.
- [21] Overpipe, Pressrelease, september 2009.
- [22] Samex, www.samex.fr.
- [23] Simona, www.simona.de.
- [24] Svensk Byggtjänst, AMA Anläggning 10, ISBN 987-91-7333-445-7, 2011.
- [25] Svensk Metallteknik Industri i Höör AB, <http://www.smti.se>.
- [26] A Turion, Overpipe, studiebesök i november 2012.
- [27] P Vercamer, P Billet & M Zarea, Overview and prospects on prevention and protection measures related to pipeline integrity, Proceedings 24th World Gas Conference, Buenos Aires 2009.
- [28] Volvo Construction Equipment, Broschyr för grävmaskin EC160d, EC180D, 16,2-20,2 t, 143 hk, 2012.
- [29] Volvo Construction Equipment, Broschyr för grävmaskin EC250D, EC300d, 24,5-33,4 t, 207-231 hk, 2012.
- [30] E Wasell, Energigasnormen EGN 2009, Svenska Gasföreningen, december 2009.
- [31] E Wasell, Energigasnormen EGN 2011, Remissutgåva, Svenska Gasföreningen, maj 2011.
- [32] M Zarea, Mechanical Damage – an European Perspective, 16th JTM, Canberra 2007.



Appendix A: Jämförelse av grävskydd

Tabell A 1, erhållen i samband med studiebesöket i Frankrike, ges uppskattade relativa kostnader i arbetsdagar för komplettering av två befintliga parallella gasledningar i dimension Ø300 mm samt Ø500 mm om 800 m med skyddsplattor av plast och betong.

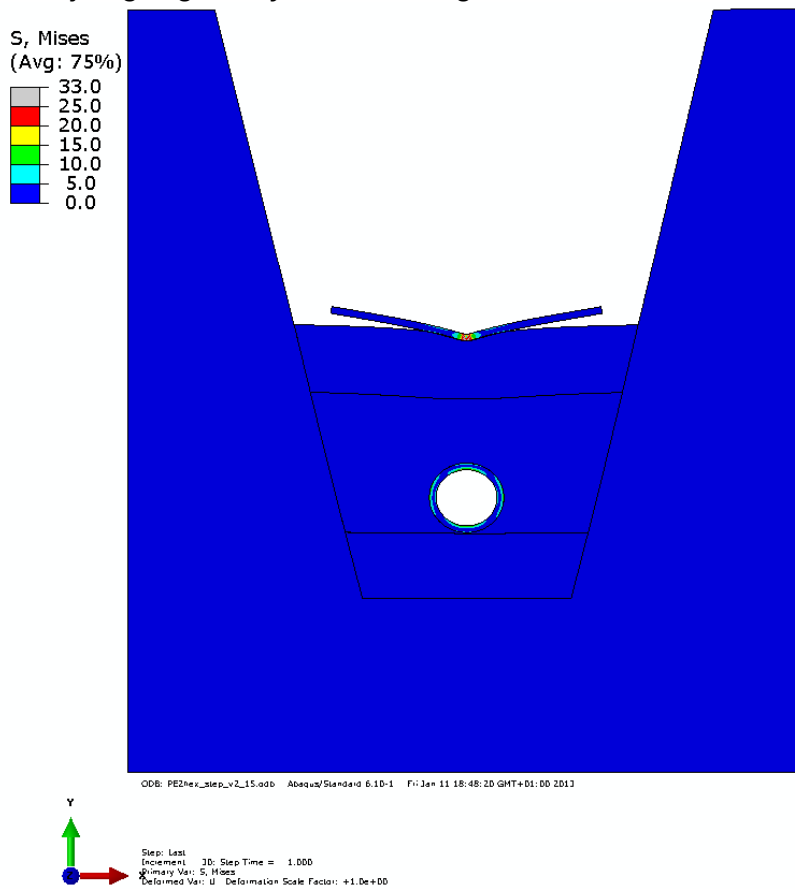
Tabell A 1: Jämförelse av förläggning av grävskyddsplattor i betong och polyeten gjord av Overpipe, Referens [26]. Färgerna står för olika slags resurser som summeras på de fyra nedersta raderna.

protection of 800 ML by concrete slabs or HDPE plates					
	CONCRETE SLABS		HDPE PLATES		HDPE/CONCRETE
	2000X1250X150	400 u.	1800X1250X15	470 u.	comparison
	750 kg/u.	300000	30,8 kg/u.	14 476	
TRANSPORT					
truck (journeys)	14		1		-13
Clark (days)	14		1		-13
driver (days)	14		1		-13
DIGGING					
excavator (days)	5		5		0
driver (days)	5		5		0
INSTALLING					
shovel (days)	5		0		-5
driver (days)	5		0		-5
workers (days)	15	3-team	4	2-team	-11
Clark (days)	5		2		-3
driver (days)	5		2		-3
FILLING IN					
shovel (days)	3		3		0
driver (days)	3		3		0
workers (days)	6	3-team	6	3-team	0
weight (tons)	300		14,5		
excavator/shovel (days)	13		8		-5
trucks (journeys)	14		1		-13
clark (days)	19		3		-16
drivers/workers (days)	53		21		-32

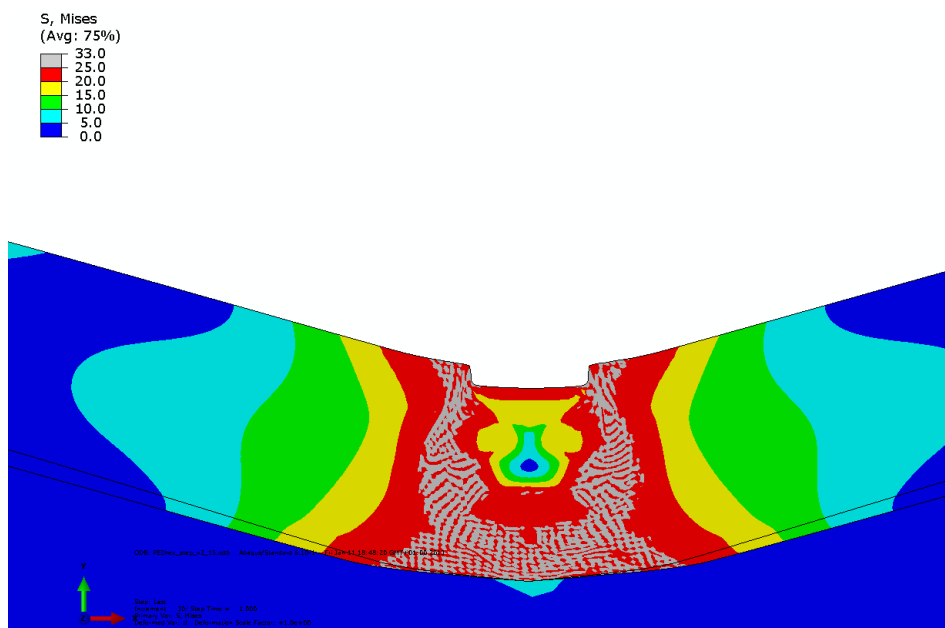


Appendix B: PE-platta 15 mm

Spänning i grävskydd av PE med tjocklek 15 mm, kringfyllnad och PE-ledning samt töjningar grävskydd visas i Figurerna B1-4.

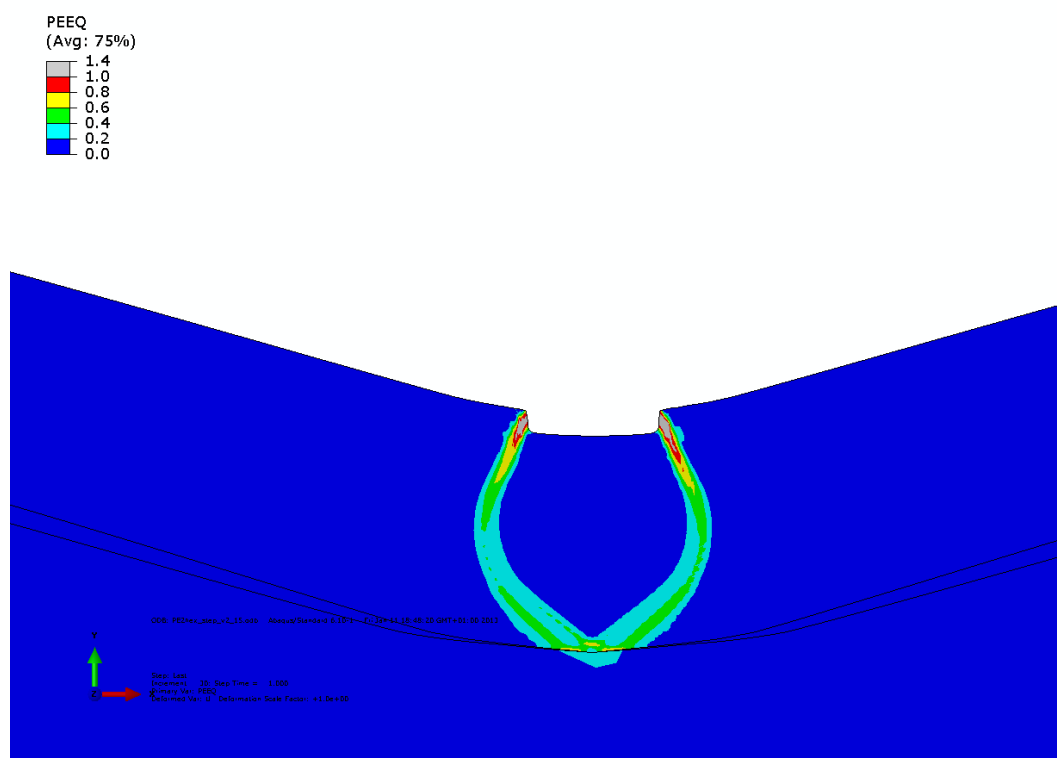


Figur B 1: Effektivspänningar [MPa] i PE-platta 15 mm, PE-rör och jordmaterial.

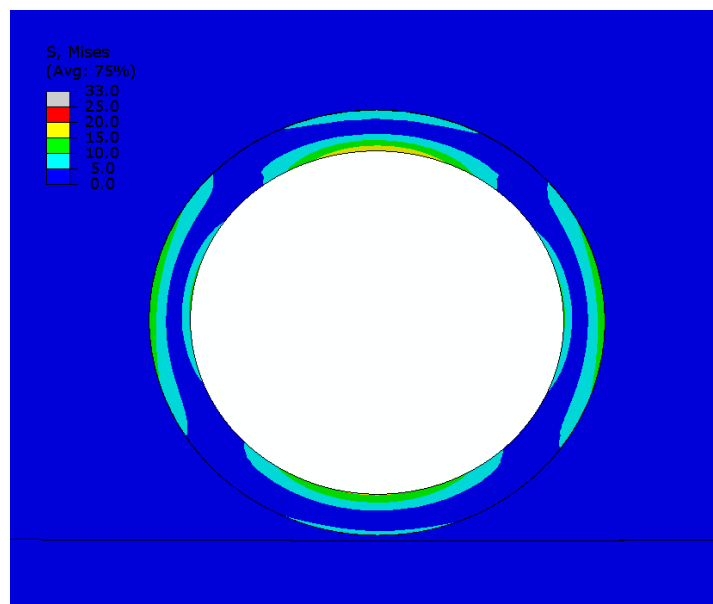


Figur B 2: Effektivspänningar [MPa] i PE-platta 15 mm.





Figur B 3: Effektivplastisk töjning i PE-platta 15 mm.

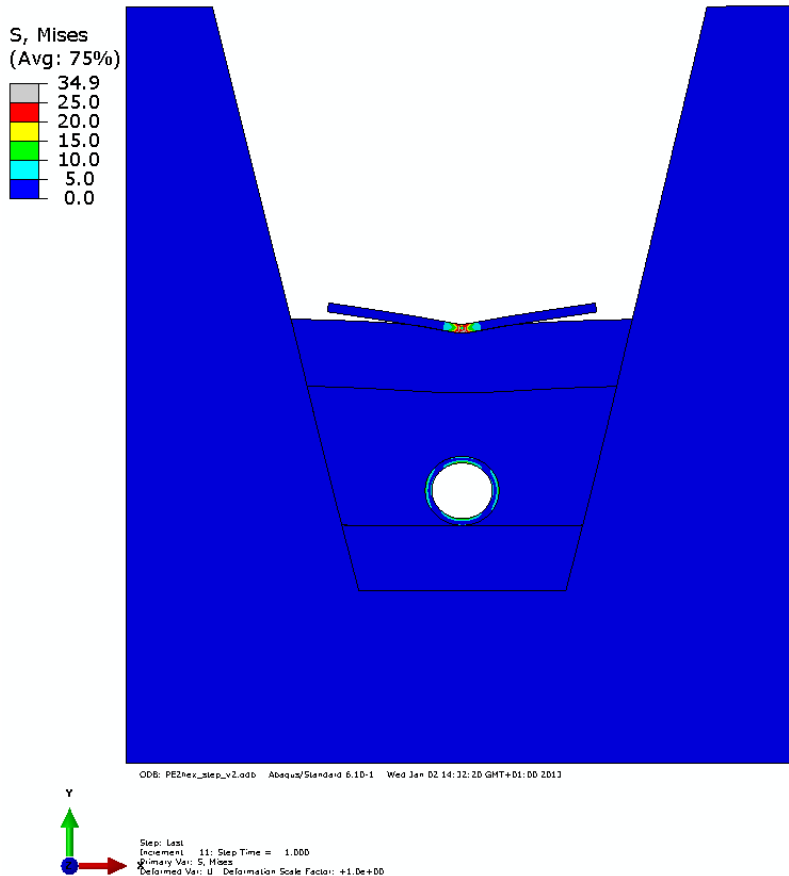


Figur B 4: Effektivspänningar [MPa] i PE-rör och omgivande jordmaterial med grävskyddsplatta i PE 15 mm.

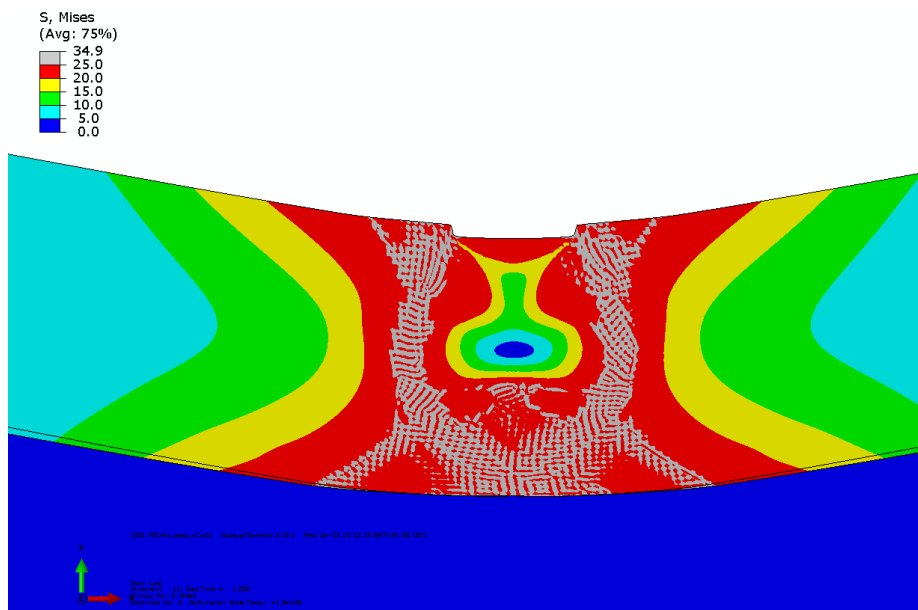


Appendix C: PE-platta 20 mm

Spänning i grävskydd av PE med tjocklek 20 mm, kringfyllnad och PE-ledning samt töjningar grävskydd visas i Figurerna C1-4.

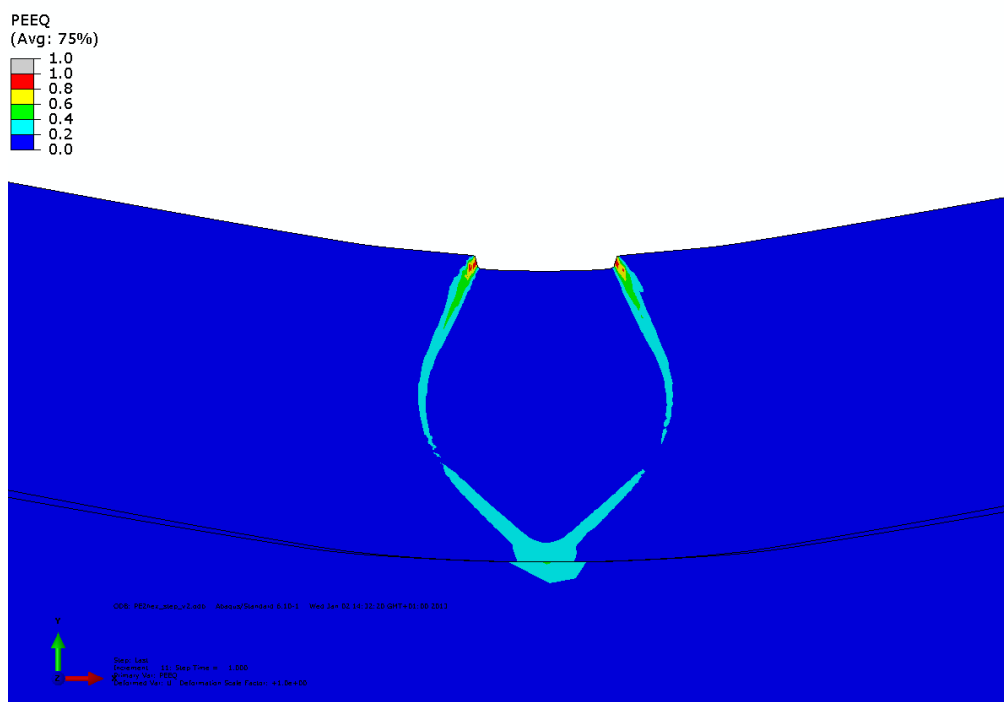


Figur C 1: Effektivspänningar [MPa] i PE-platta 20 mm, PE-rör och jordmaterial.

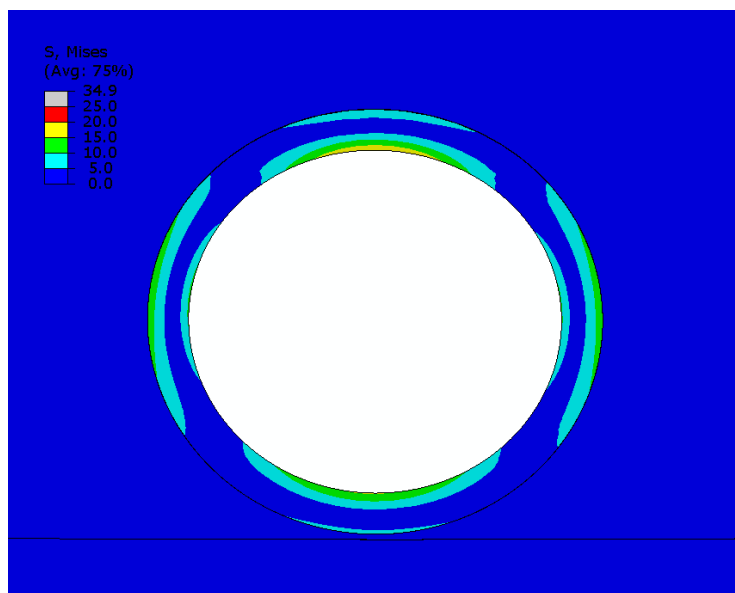


Figur C 2: Effektivspänningar [MPa] i PE-platta 20 mm.





Figur C 3: Effektivplastisk töjning i PE-platta 20 mm.

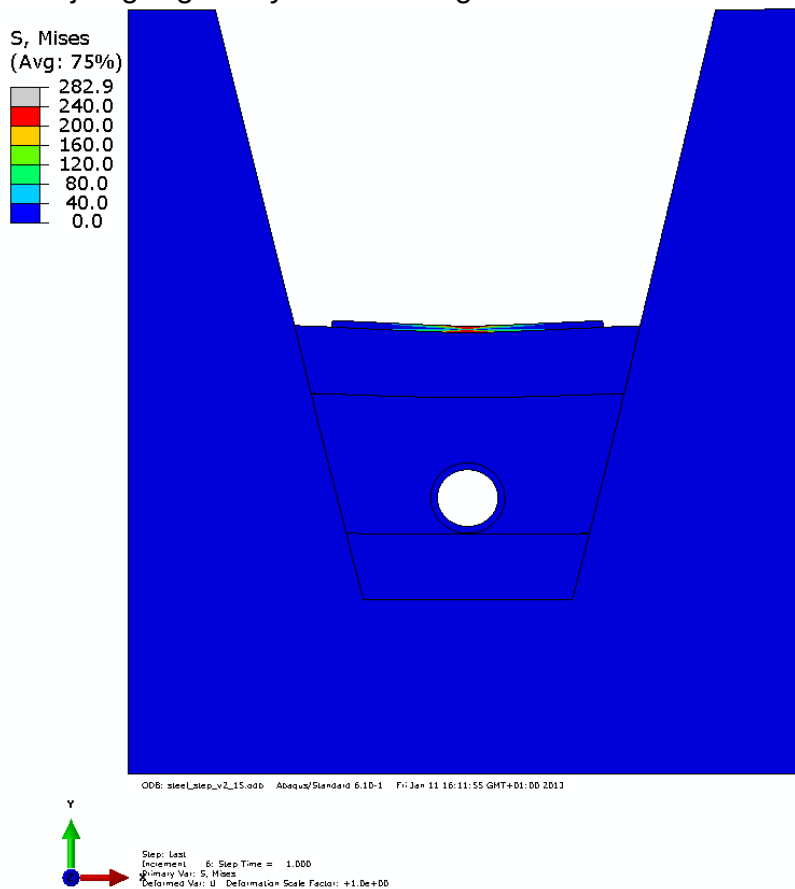


Figur C 4: Effektivspänningar [MPa] i PE-rör och omgivande jordmaterial med grävskyddsplatta i PE 20 mm.

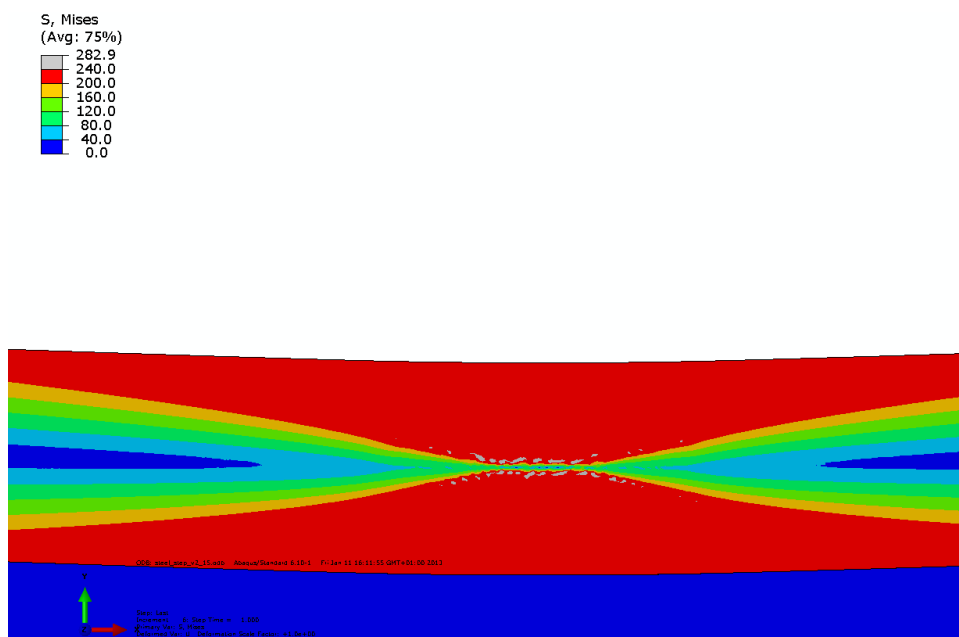


Appendix D: Stålplatta 15 mm

Spänning i grävskydd av stål med tjocklek 15 mm, kringfyllnad och PE-ledning samt töjningar grävskydd visas i Figurerna D1-4.

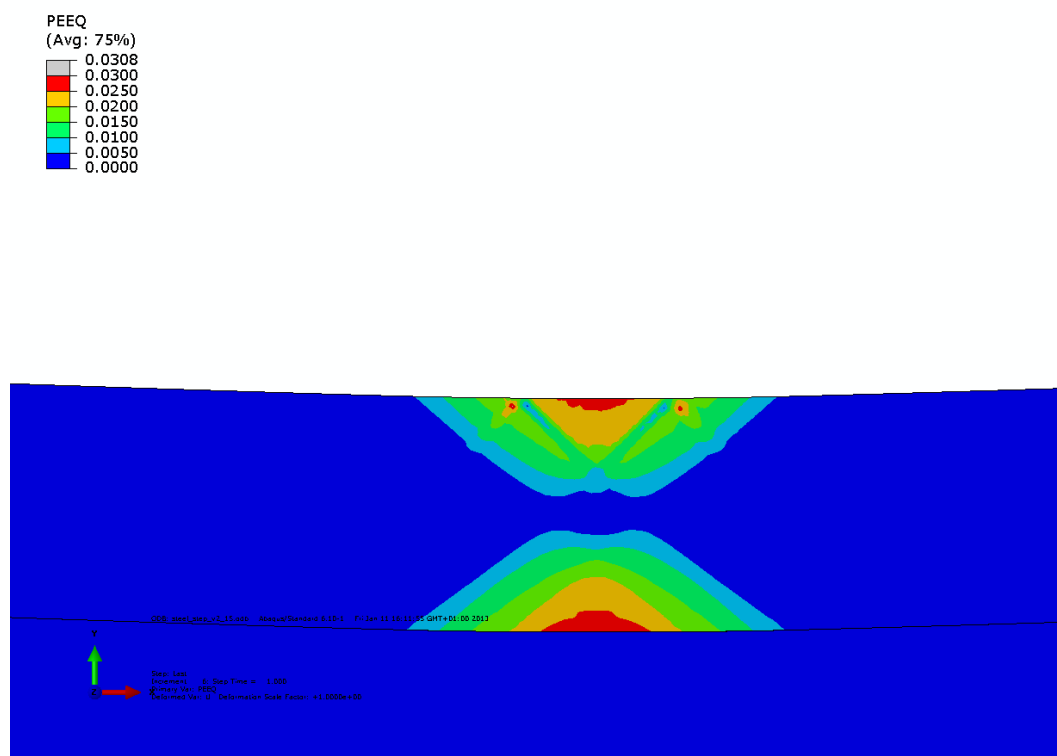


Figur D 1: Effektivspänningar [MPa] i stålplatta 15 mm, PE-rör och jordmaterial.

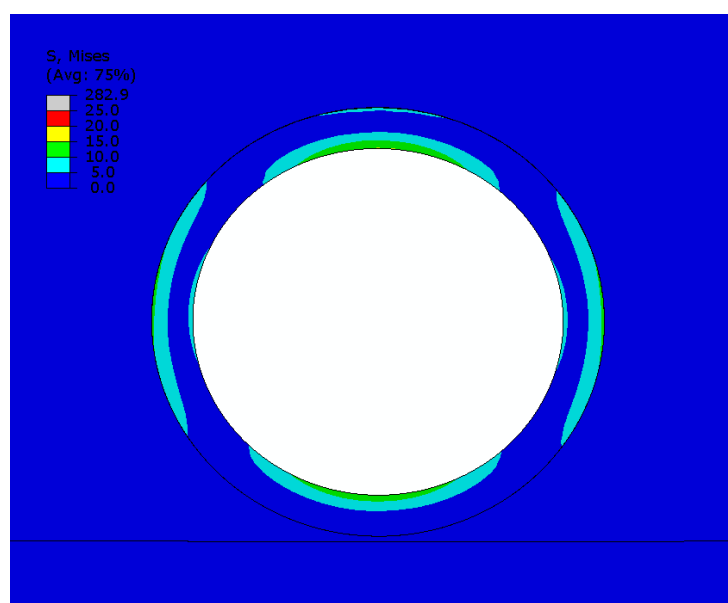


Figur D 2: Effektivspänningar [MPa] i stålplatta 15 mm.





Figur D 3: Effektivplastisk töjning i stålplatta 15 mm.

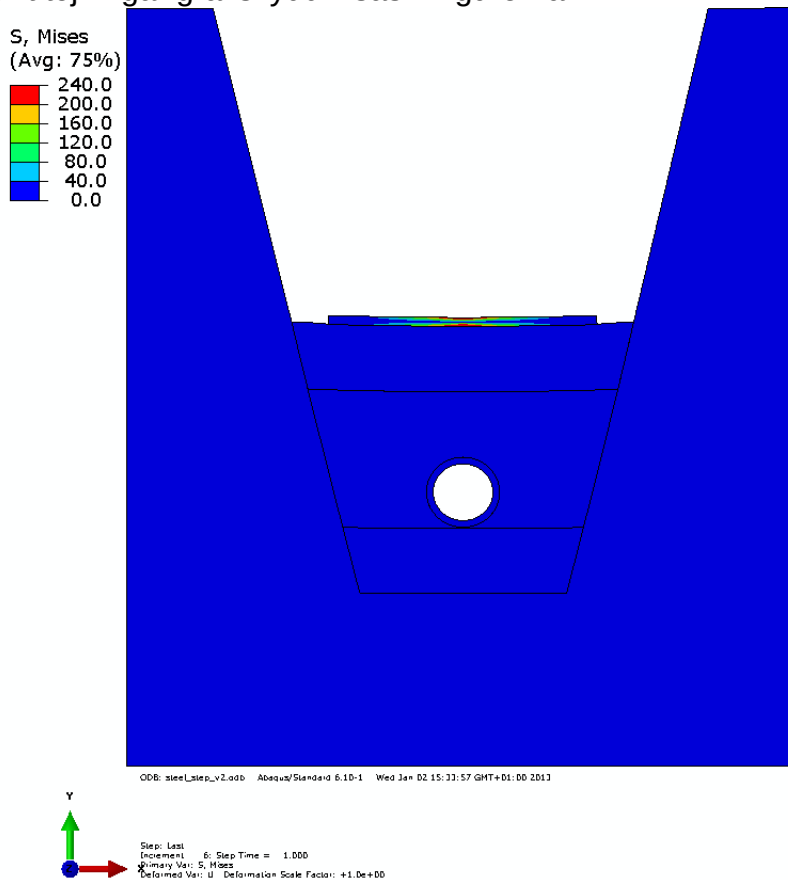


Figur D 4: Effektivspänningar [MPa] i PE-rör och omgivande jordmaterial med grävskyddsplatta i stål 15 mm.

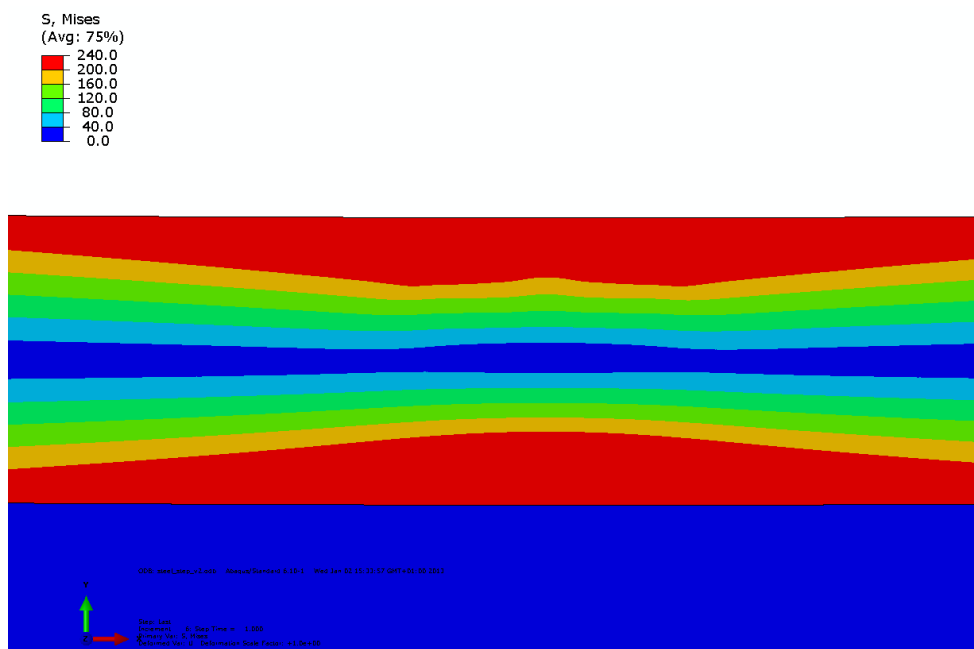


Appendix E: Stålsplatta 20 mm

Spänning i grävskydd av stål med tjocklek 20 mm, kringfyllnad och PE-ledning samt töjningar grävskydd visas i Figurerna E1-4.

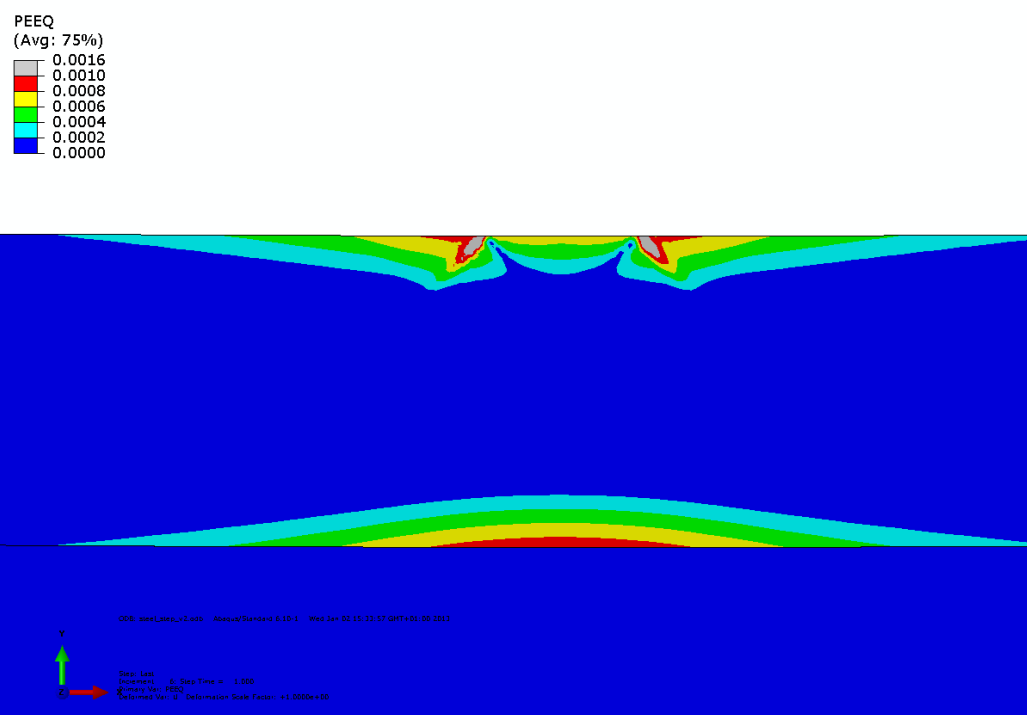


Figur E 1: Effektivspänningar [MPa] i stålsplatta 20 mm, PE-rör och jordmaterial.

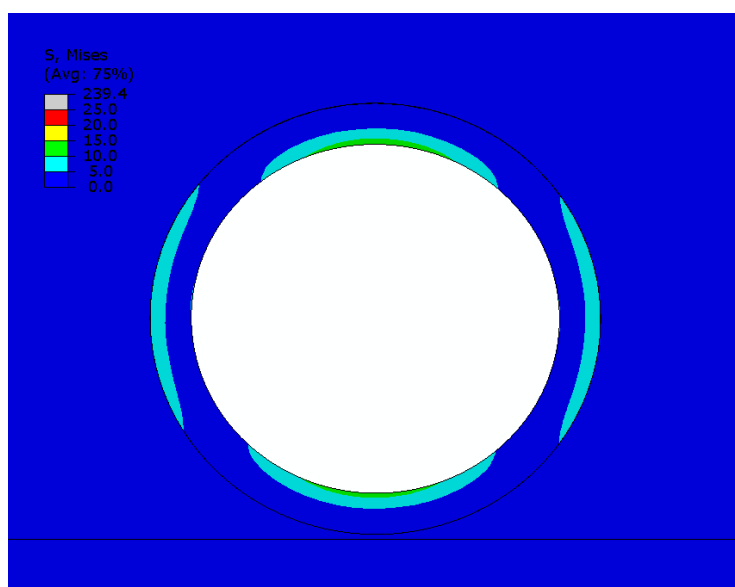


Figur E 2: Effektivspänningar [MPa] i stålsplatta 20 mm.





Figur E 3: Effektivplastisk töjning i stålplatta 20 mm.

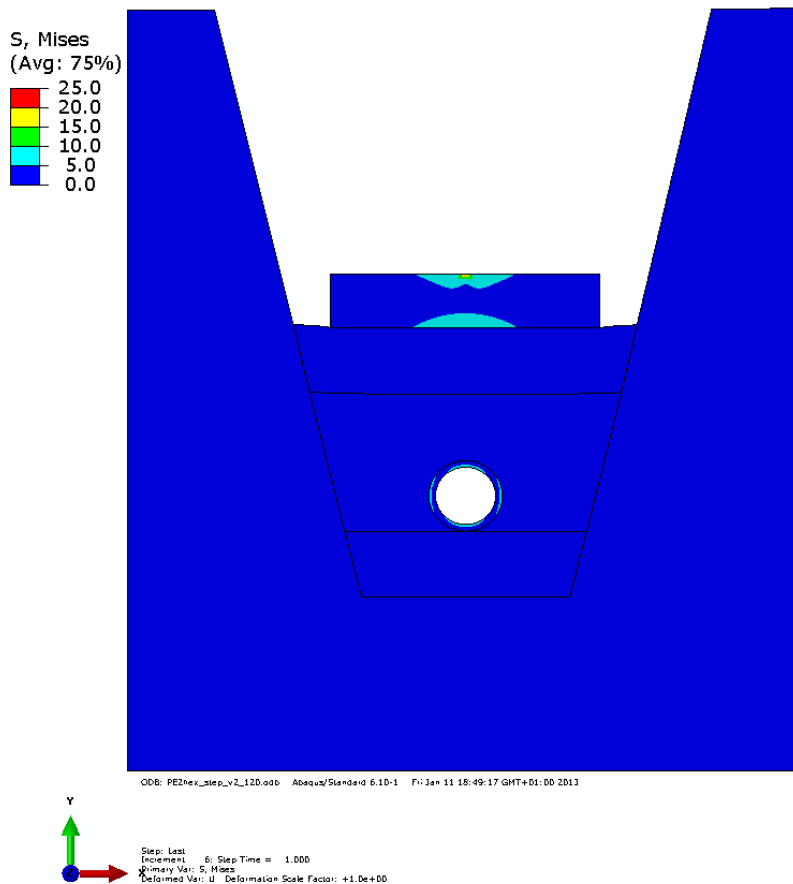


Figur E 4: Effektivspänningar [MPa] i PE-rör och omgivande jordmaterial med grävskyddsplatta i stål 20 mm.

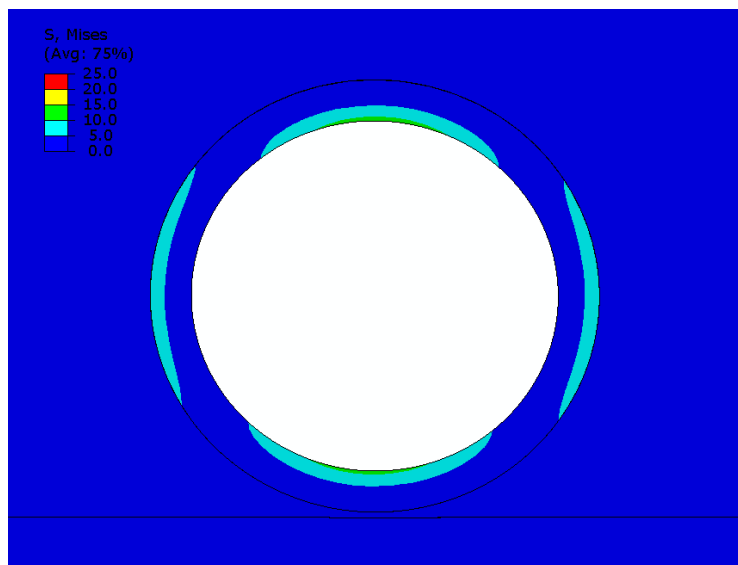


Appendix F: Betongplatta 120 mm

Spänning i grävskydd av betong med tjocklek 120 mm, kringfyllnad och PE-ledning visas i Figurerna F1-2.



Figur F 1: Effektivspänningar [MPa] i betongplatta 120 mm, PE-rör och jordmaterial.



Figur F 2: Effektivspänningar [MPa] i PE-rör och omgivande jordmaterial med grävskyddsplatta i betong 120 mm.



Appendix G: Lagstiftning i EU angående pipelines

Tabell G 1 visar en översikt av lagkraven täckande pipelines i allmänhet i olika länder i Europa.

Tabell G 1: Översikt över lagkraven täckande pipelines i EU hämtad från Referens [7].

Country	Safety management systems	Risk assessment	External emergency plans	Land use planning	Information to the public	Third-party issues	Technical safety requirements
Belgium	++	++	++	++	+	+++	++
Czech Republic	+	0	+++	++	+	+++	++
Denmark	0	++	++	+	0	++	+++
Estonia	0	++	0	+	0	++	++
Finland	+++	++	++	++	+	++	+++
France	+++	++	+++	++	+	+++	++
Germany	++	++	+++	++	+	+++	+++
Ireland	+++	++	+++	0	+	+++	0
Italy	+	++	0	+	+	++	+++
Netherlands	++	++	+++	+	+	+++	Duty of care
Poland	+++	+	0	+	+	+	+++
Portugal	+++	++	0	+	+	+++	+++
Romania	+++	++	+++	+	+	0	++
Spain ⁶	++	++	+	+++	+	+	++
Sweden	++	0	+	0	0	+	++
UK	+++	++	++	++	0	+	Duty of care
Croatia	++	+++	++	++	+	++	+++
Turkey	++	+++	+++	++	+	++	+++
Norway	++	+++	+++	++	+	++	

0= no provision, + =basic provision, ++= several provisions, +++ = many provisions

