

Relining eller rörbyte

– *En jämförelse med
LCA*

DANIEL BERGLUND
PARASTOU KHARAZMI
SOFIIA MILIUTENKO
FOLKE BJÖRK
TOVE MALMQVIST



Sammanfattning

Denna jämförande livscykelbedömning belyser tre huvudalternativ för renovering av avloppsrör; rörbyte, relining med rörfoder (strumpmetoden, CIPP-lining) som även kallas sliplining och renovering icke-bärande plastbeläggningar. Den funktionella enheten i denna studie är ett sex våningar högt punkthus som byggdes 1960 och som har 29 lägenheter. De redovisade resultaten av miljöpåverkan visar att strumpmetoden har fördelar framför rörbyte i 14 av de 18 undersökta kategorierna. När det gäller de kategorier där påverkningarna var förhållandevis stora, jämfört med en genomsnittliga europeisk medborgares årliga miljöbelastning, enligt ReCiPe-metoden, så har renoveringmetoden rörbyte större påverkan än strumpmetoden. Påverkningarna av rörbyte är främst relaterade till nya klinkerplattor, EPS-cement, avjämningsmassor och materialet för tätskikt, och även den el som behövs för att torka byggnaden. Strumpmetoden visar högre påverkan än rörbyte i fyra kategorier. Dessa påverkningar orsakas till stor del av användningen av förbrukningsmaterial som handskar och bomullstrasar. Ur ett LCA-perspektiv visar studien att strumpmetoden och icke-bärande beläggningsreningsmetoder har fördelar framför rörbyte under förutsättning att den tekniska livslängden är densamma. Osäkerheten om livslängden och även frågan om utsläpp av Bisphenol A (BPA) är aspekter som behöver fortsatta studier. Det finns också andra faktorer som till sist påverkar vilken metod för stamrenovering som en fastighetsägare väljer; kostnader, besvär för de boende, behov av renovering av badrum till sist hur fastighetsägaren själv värderar de olika alternativen.

Innehållsförteckning	
Sammanfattning	2
1 Introduktion och bakgrund	4
2 Syfte	6
3 Metoder för reovering av avloppsrör	7
3.1 Rörbyte	7
3.2 Metoder för relining	7
3.3 Strumpmetoden	7
3.4 Relining med belägningsbaserade metoder	8
3.5 Jämförelse mellan metoderna	8
4 Metod	10
4.1 Datainventering och referensfall	10
4.2 Metod för livscykelanalysen	11
4.3 Metod för konsekvensbedömning	12
4.4 Funktionell enhet och systemgränser	12
4.5 Modellering av avfallshantering	14
4.6 Avgränsningar	15
4.7 Jämförelse mellan strumpmetoden, sprutmetoden och borstmetoden	15
5 Resultat	17
5.1 Jämförelse mellan strumpmetoden och rörbyte	17
5.2 Analys av dominerande belastningar för de olika metoderna	19
5.3 Miljöbelastningar från olika reliningmetoder	21
6 Diskussion	22
7 Slutsatser	24
Slutliga kommentarer	25
Referenser	26
Appendix A	29

1 Introduktion och bakgrund

Ungefär 1.350.000 lägenheter byggdes i Sverige mellan 1946 och 1975. De flesta av dessa byggdes under "Miljonprogrammet", som pågick mellan 1965 och 1975 och som var avsett att hantera bostadsbristen i Sverige (Hall och Vidén 2005). Nu, 40-50 år efter att de byggdes behöver system och material i byggnaderna renoveras på grund av att de blivit slitna. Det beräknades 2013 att cirka 471 000 lägenheter behövde renoveras inom en snar framtid (Lindqvist et al., 2013).

Tillsammans med utbyte av fönster och hissar är rörrenovering, vilket normalt krävs efter 35–45 år (BKN 2008), en av de mest kostsamma underhållsuppgifterna i byggnader. Eftersom rören från mitten av 1950-talet, 1960-talet och 1970-talet är nu 40-60 år gamla, är behovet av renovering i vissa fall brådskande. Gamla och defekta rörledningar medför risk för läckage, översvämningar och ökade försäkringskostnader (VVS-FÖRETAGEN 2009).

Renovering av ett avloppsrörssystem är ett dyrt och omfattande arbete för ägaren av fastigheten eftersom det också kan innebära renovering av badrummet och delar av köksområdet. Ägaren måste göra en bedömning av byggnadens övergripande behov av renovering samt fatta beslut om att välja kortsiktiga eller långsiktiga lösningar, inklusive en ekonomisk analys av tillgängliga alternativ (Klintberg et al., 2011). Idag finns det flera metoder för rörrenovering. Rörbyte och relining med strumpmetoden (CIPP-lining) är två av de vanligaste metoderna i Sverige. Andra metoder som används i Sverige är att förse gamla rör med en invändig beläggning med sprutmetoden eller borstmetoden. Strumpmetoden, sprutmetoden och borstmetoden kallas alla relining i Sverige.

Rörbyte är den traditionella metoden för rörrenovering som innebär att de gamla rören byts ut med nya. Relining med strumpmetoden är en relativt ung teknik, där rören istället för att ersättas rengörs och får ett nytt inre rör av polymerkomposit. I de beläggningsbaserade relineringsmetoderna appliceras de polymera kompositerna inuti de gamla rören med sprutmetoden eller borste och bildar efter en härdning ett nytt polymerskikt inuti det gamla röret.

Strumpmetoden har blivit ett populärt val för renovering i Sverige, eftersom det är relativt enkelt att installera och anses vara kostnadseffektivt. I hela världen var omkring 65 000 km rör relinade med strumpmetoden året 2010 (Sterling et al.), varav de flesta var kommunala avlopp med självfall.

Flera studier har gjorts för att ta reda på om den tekniska livslängden av reliningmaterialen kan vara upp till 50 år (Allouche et al., 2014, Klintberg et al., 2011, EPA.2014), inklusive några större studier utförda med stöd av US Environmental Protection Agency och studier av liner-materialens livslängd (Araujo och Yao.2014, Macey et al.2013).

Fastän det görs många avloppsrenoveringsprojekt så saknas undersökningar av deras miljöpåverkan. Förutom ett par kandidatarbeten och några interna rapporter så finns endast några få publicerade vetenskapliga studier i ämnet. En av dessa är studien av Muraoka och Wada (2008), som använde LCA-metoden. Den studien jämförde tre reliningmetoder för kommunala avloppsrör (strumpmetoden, en metod där rör monteras som hopvikt och en metod där ett spiralformat foder läggs in) med metoden där ledningen grävs fram och ersätts. Studien beaktade fyra aspekter: energiförbrukning, koldioxid (CO₂), utsläpp av kväveoxid (NO_x) och utsläpp av svaveloxid (SO_x) (Muraoka och Wada 2008). Undersökningens slutsats var att den största miljöbelastningen kom av att gräva upp och ersätta röret jämfört med de andra metoderna. Studien visade också att för strumpmetoden var energianvändning och koldioxidutsläpp större vid tillverkningen av materialen än vid de andra stegen som var transport och installation.

Det svenska reliningföretaget Proline gjorde i samarbete med forskningsinstitutet SWEREA en analys av relining med sprutmetoden för att se möjligheter till förbättring och granska miljöeffekter när ytskikten i ett hus inte behöver öppnas (SWEREA 2014). Detta gjordes med en LCA-metod med två kategorier: totalt energibehov och bidrag till klimatförändringar. Resultatet var att acetonförbrukning, plastmaterial och de bilar som används för transport är de tre parametrar som ger störst miljöbelastning vid reliningprocessen. En beräkning baserad på allmänna antaganden angav att bidrag till klimatförändring av ett rörbyte i en lägenhet kan vara cirka 4-8 gånger högre än för relining beroende på den tekniska livslängden för betraktat material. En annan slutsats var att miljöbelastningen är mycket beroende av omfattningen på renoveringsarbetet (SWEREA 2014).

I sitt kandidatarbete påpekade Nimmerfors (2012) att relining troligen är bättre för miljön än traditionellt rörbyte på grund av den låga materialanvändningen. I ett annat kandidatarbete av Wall and Nilsen (2014) konstaterades också att beläggningsrelining (i detta fall borstmetoden) har mindre miljöpåverkan än rörbyte. Slutsatsen i dessa arbeten var att materialutvinning och transport var de främsta bidragsgivarna till miljöpåverkan, medan själva installationen hade lägre påverkan. Efter att ha utfört en livscykelanalys av renovering av tappvattenrör kom Landberg och Nilsson (2012) fram till att valet av rörrenoveringsmetod är en komplex fråga och att miljöspekten bara är en av många parametrar som ska beaktas. Vilket skick ytorna i byggnaden har är betydelsefullt enligt dessa kandidatarbeten.

I allmänhet visar vår litteraturöversikt att det endast finns några få studier om relining av avloppsrör, och att dessa studier är ganska begränsade i sin omfattning och beaktar endast några få påverkanskategorier (främst energianvändning och växthusgasutsläpp). De ger därför inte tillräcklig kunskap om ämnet. Följaktligen finns det behov av en mer omfattande studie om miljöpåverkan av olika metoder för rörrenovering för att hjälpa fastighetsägare och andra människor och organisationer som är inblandade i beslut från miljö- och LCA-synvinkel.

2 Syfte

Syftet med denna studie är att analysera och jämföra olika renoveringsmetoder för avlopp i en bostadsbyggnad utifrån deras potentiella miljöpåverkan. De metoder som studerades var rörbyte; strumpmetoden med en strumpa impregnerad med epoxiharts; och belägningar med spruta och pensel där liningmaterial av polyester respektive epoxi används. Vid strumpmetoden sätts ett nytt rör in i ett äldre rör. Denna metod jämfördes på ett mer översiktligt sätt med beläggningsmetoderna för att se om själva valet av reliningmetod hade någon större betydelse.

3 Metoder för renovering av avloppsrör

3.1 Rörbyte

För mer än 150 år sedan, den 27 april 1861, introducerades det första tappvattensystemet i Sverige, följt 1866 av den första planen för hantering av avloppsvatten, där ett rörledningsnät började att byggas och som efter hand växte allt snabbare (Stockholm Vatten, 2011). Förslitningen av dessa rörledningar över tiden innebar behov av renovering.

Rörbyte där bjälklagen öppnas och som även innebär renovering av badrum har länge varit det enda sättet att upprätthålla avloppssystemets funktion. Metoden är tillförlitlig eftersom alla rör tas bort och ersätts med nya rör. För att nå de gamla rören behöver bjälklag och schakt bilas upp. Detta skadar dock de vattentäta skikten under kakel och klinker i badrummen. Det vanliga förfarandet är att ta bort allt kakel och klinker och sedan efter att rören blivit bytta lägga ett nytt tätskikt och till sist nya kakel- och klinkerplattor. En partiell reparation av tätskikt betraktas inte som tillförlitlig. Resultatet blir ett nytt badrum, men kanske kombinerat med ett visst slöseri i de fall som kakel och klinker fortfarande hade en del kvar av sin funktionella livslängd. Processen kan också bli tidskrävande och kommer att störa de som bor i huset med damm och buller så att det i många fall blir omöjligt att bo i lägenheten under renoveringen, som ofta kan ta mer än en månad i anspråk. Metoden medför också stora mängder rivningsmaterial och behöver transporter av nytt material. Kostnaderna för detta kommer också att vara höga (Berglund 2015).

3.2 Metoder för relining

Det finns fyra klasser av relining enligt American Water Works Associations M28 Manual (AWWA 2014): Klass I icke-strukturella liningsystem som ger korrosionsskydd. Klass II är delvis bärande strukturer som behöver stöd från sitt värdrör men som kan överbrygga hål och skador. Klass III, är också delvis bärande men har tillräcklig tjocklek för att motstå buckling från yttre hydrostatiskt tryck eller inre undertryck. Slutligen finns klass IV som är en lining med full bärande förmåga. Det ursprungliga röret förväntas inte bidra till funktionen.

Renoveringsprocessen börjar med att samla in information om vad som behöver göras och bestämma tidsplanen. Nästa steg är rengöring, följt av en kamerainspektion för att kontrollera värdrörets tillstånd. Därefter installeras lining och det sista steget är att inspektera installationen med hjälp av kamera. Slutresultatet dokumenteras med en videoinspelning tillsammans med andra relationshandlingar. Installationen tar normalt mindre än en vecka.

3.3 Strumpmetoden

Strumpmetoden innebär att ett flexibelt rör (en ”strumpa”) impregnerad med ohärdad plastmassa dras in i det gamla röret för att härdas inom en viss tid (Kharazmi och Björk 2016a). Strumpmetoden ger är en delvis bärande struktur som behöver stöd från sitt värdrör men som kan överbrygga hål och skador (Klass II enligt AWWA). Detta kallas också CIPP (Cure In Place Pipe). Denna teknik uppfanns 1971 i London av Eric Wood (Wood 1977). Även om själva metoden användes i början av 1970-talet för kommunala markrör, anses den vara en ganska ny metod (SABO, 2013). Det första och fortfarande viktigaste användningsområdet för relining är i markkonstruktioner, såsom rör, kulvertar som ofta är av stora dimensioner.

Epoxi är vanligaste hårdplasten för impregnering av det flexibla röret vid strumpmetoden i Sverige (Kharazmi och Björk 2016b). Denna typ av strumpa kan monteras i rör med dimensioner ned till 50 mm, vilket är vanlig dimension för rören diskbänkar och tvättställ. Härdningsprocessen för dessa rör med mindre diameter sker vanligen vid rumstemperatur, men härdningsmetoder med varmvatten, ånga eller UV-ljus är också möjliga (Kharazmi och Björk 2016a). De olika stegen i den metod som studeras här beskrivs mer detaljerat på Proline Group ABs hemsida (2016) och av Håkansson (2013).

Den installationsprocess för strumpmetoden som används i Sverige är mycket lik den som används i andra delar av världen (t.ex. USA (Najafi 2010, EPA 2014) och Storbritannien (Insituform 2016a, Insituform 2016b)). Enligt Insituform, ett ledande brittiskt relineringsföretag, är deras installation av det härdade röret för avloppsrör uppdelat i följande steg:

I det första steget impregneras materialet i strumpan med värmehärdande epoxi. Detta görs antingen på arbetsplatsen eller i en auktoriserad anläggning. I nästa steg förs strumpan in i värdröret, antingen genom att dras fram- eller med en inversionsmetod som drivs vatten- eller luftryck. Det tredje steget är att härda den värmehärdande plasten genom att cirkulera varmt vatten eller ånga genom röret. Det sista steget är när röret kyls, strumpans ändar skärs av och det relinade röret kan användas (Insituform 2016a, Insituform 2016b).

3.4 Relining med belägningsbaserade metoder

Exempel på relining med icke-strukturella liningsystem (AWWA Klass I) är sprutmetoden och borstmetoden. Dessa metoder, som också kallas belägningsbaserade metoder, används ofta i Sverige. Vid applicering av lining på detta sätt ska resultatet ska bli två till tre lager som vardera är 900–1100 µm torr tjocka (Jotun, 2015).

Sprutmetoden använder ett sprutmunstycke som fungerar genom att liningmaterialet pumpas vid högt tryck och bildar ett plymformat mönster av små droppar som träffar rörets väggar. Plasten är vanligtvis av polyestertyp där härdaren blandas med plasten alldeles innan appliceringen.

I borstmetoden appliceras plastmassan med ett verktyg med roterande borstar. Plastmassan är vanligen en tvåkomponent epoxi som modifieras med nitrilgummipartiklar för att göra materialet mer elastiskt.

De viktigaste aspekterna vid valet av en specifik metod för renovering av vattenrör är först och främst tillståndet hos det befintliga röret, samt omfattningen av skador såsom korrosion, läckage etc. Det gamla rörvt måste kunna bära det nya liningmaterialet för att sprut- och borstmetoderna ska kunna användas. Om skadorna är allt för stora är alternativet antingen strumpmetoden eller en fullständig reparation av hålen och läckaget i det gamla systemet innan en ny lining appliceras.

3.5 Jämförelse mellan metoderna

Metoderna rörbyte och relining är inte helt jämförbara och vissa viktiga skillnader bör nämnas inför en jämförelse beträffande miljöpåverkan.

Strumpmetoden och relining med sprut- eller borstmetoden görs på bara några dagar och orsakar ganska små störningar och ger mindre mängder damm och andra rester än rörbyte. Ytskikten i badrummen kommer att förbli desamma i badrummet, men rörens innerdiameter reduceras på grund av tjockleken på liningmaterialet. Från ett försäkringsperspektiv anses inte relinade rör som nya.

Det antas att den tekniska livslängden för nya rör är ungefär 50 år och samma livslängd kan vara aktuell för material som används vid relingsmetoder. I en undersökning genomförd av KTH Kungliga Tekniska Högskolan (Klintberg 2011) intervjuades fastighetsägarna till cirka 300 byggnader med relinade avlopp. Bland alla dessa fanns endast ett riktigt misslyckande, så det var inte uppenbart att livslängden för relinering är mycket kortare än för byte av rör. I den föreliggande studien ges båda metoderna en livslängd på 50 år.

4 Metod

4.1 Datainventering och referensfall

Under den inledande fasen av studien besökes ett antal byggarbetsplatser för strumpmetoden respektive rörbyte. Dessa besök gjordes för att bekräfta information som erhållits från en litteraturöversikt kring de två metoderna, samt för att få fördjupad förståelse för processerna innan de undersökes ytterligare.

Besöken på plats startade med en generell beskrivning som gavs då platscheferna beskrev byggprocessen. Användningen av material och maskiner noterades och kvantifierades. Detaljerad information om tillverkare av produkter och maskiner samlades in.

I vissa fall kunde platscheferna ge exakta besked ur konsekvent utförda protokoll om materialanvändningen. I andra fall fanns endast uppgift om den typ av material som användes och den totala förbrukningen beräknades senare med hjälp av materialtillverkarens information.

För att kunna göra en jämförande LCA av de två renoveringsmetoderna valdes ett specifikt referensfall som den funktionella enheten. Den är ett typiskt punkthus byggt 1960. Huset finns i Uppsala (ca 70 km norr om Stockholm). Det valda huset genomgick renovering av avloppsrörssystemet med strumpmetoden. Byggnaden har sex våningar, exklusive källare, och rymmer 29 lägenheter (som var och en har ett badrum). Denna byggnad valdes eftersom det finns cirka 6000 byggnader av detta slag i Sverige och de strukturer och material som används är mycket typiska för denna tid (Viden, 1985). Därför menar vi att byggnaden i fallstudien är representativ för de flesta svenska flerfamiljshus som byggdes under denna tidsperiod. Kännetecknen för byggnaden som är relevanta för denna studie visas i Tabell 1 och Figur 1.



Figur 1. Foto av byggnaden i studien, som också är den funktionella enheten.

Data som behövs är areor, dimensioner och längder som används för beräkningar var badrumsarea (kvm), badrummets omkrets, rumshöjd och hur stora delar av lägenheten som behöver skyddas för de olika metoderna. Data togs från ritningen i PDF-format med hjälp av programmet Bluebeam. Utifrån observationerna togs data fram på vilka mängderna var av material, förbruk-

ningsartiklar och även energianvändning för de båda metoderna som studerades. Hur stor del av lägenheten som behövde skyddas mot spill skiljer sig mellan metoderna på grund av omfattningen av arbetet med epoxi under installationen.

Tabell 1
Karakteristiska data för referensobjektet

Uppmätta delar	Resultat
Total area som är badrum	140 kvadratmeter
Badrummens totala omkrets	280 meter
Rumshöjd i badrum	2.5 meter
Längd av skyddade delar (Sprutmetoden)	345 meter
Längd av skyddade delar (Rörbyte)	230 meter
Bruttoarea för byggnaden	2350 kvadratmeter

Produkttillverkarna blev ombudda att ge information om sina produktionsanläggningar. Uppgifter om avstånd och vilka typer av transporter som användes för de olika produkterna uppskattades med hjälp av webbsidor Google Maps (Google, 2013) och Cargo Router (Cargo-Router, 2013).

Uppgifterna från besöken, litteratursökningen och kontakterna med tillverkarna validerades och tolkades därefter för att göra data säkrare. De resulterande inventeringarna framgår av bilaga A (som är tillgänglig på Diva-portal). Sammanfattningsvis gjordes en mycket detaljerad inventering av renoveringen med strumpmetoden i referenshuset. Denna information, tillsammans med information från ritningar, användes sedan för att uppskatta vad material- och resursanvändningen skulle ha varit vid rörbyte i den studerade byggnaden.

Direkt energianvändning från maskiner och verktyg, material som användes för produktionsfas, installationsfas och transport av förbrukningsvaror och installerade material mättes, beräknades eller i vissa fall uppskattades. Databasen EcoInvent användes för att få bakgrundsdata om utvinning av råvaror, produktion av konsumtionartiklar, produktion av filt till ”strumpan”, produktion av hårdplast, och material för hårdning. Genom att använda data från den ovan nämnda inventeringen kunde även en god uppskattning göras av behovet av material, utrustning och så vidare för stambyte.

4.2 Metod för livscykelanalysen

Livscykelanalys (LCA) användes i denna studie för att jämföra miljöpåverkan av rörbyte med användningen av strumpmetoden. LCA är en teknik för att bedöma miljöaspekter och potentiella effekter som är associerade med en produkt under hela livscykeln från råmaterialförvärv via transport, produktion, användning och till bortskaffande (ISO 2006). Denna studie grundar sig på LCA-metoden enligt ISO 14044 (2006), som består av fyra huvudfaser:

1. Målbeskrivning och omfattning: Undersökningens syfte och ambitionsnivå beskrivs. Här bestäms även systemgränser liksom funktionell enhet (som är måttet på den nytta som systemet gör).
2. Inventeringsanalys: Information om material och processer samlas in, miljöbelastningen för de ingående processerna fastställs.
3. Miljöpåverkan: Denna fas delas in i tre steg: Klassificering, karakterisering och värdering.

4. Resultattolkning: som också kan innehålla en förbättringsanalys för hur produktens miljöpåverkan kan minskas. Analysen i studien gjordes som en bokförings-LCA, som beskriver den nuvarande statusen för miljöprestanda med hjälp av genomsnittliga processdata (Tillman 2000, Finnveden et al., 2009). Studien var en jämförande LCA med en fallstudie av ett renoveringsprojekt. SimaPro, som är en mjukvara för LCA, användes för modellering av huvudprocesser, datainventering och konsekvensbedömning (PRé 2016).

4.3 Metod för konsekvensbedömning

Konsekvensbedömningen gjordes genom en normalisering med hjälp av ReCiPe midpoint LCIA-metoden. ReCiPe bygger på Eco Indicator 99 och CML Handbook på LCA (PRé, 2015). Den tar hänsyn till arton påverkanskategorier. Denna normaliseringsprocess används för att få sätta resultaten från varje miljöpåverkanskategori i ett sammanhang. De normaliseringsfaktorer som används i studien motsvarar genomsnittligt årligt utsläpp eller förbrukning som kommer av en person i Europa under ett år.

4.4 Funktionell enhet och systemgränser

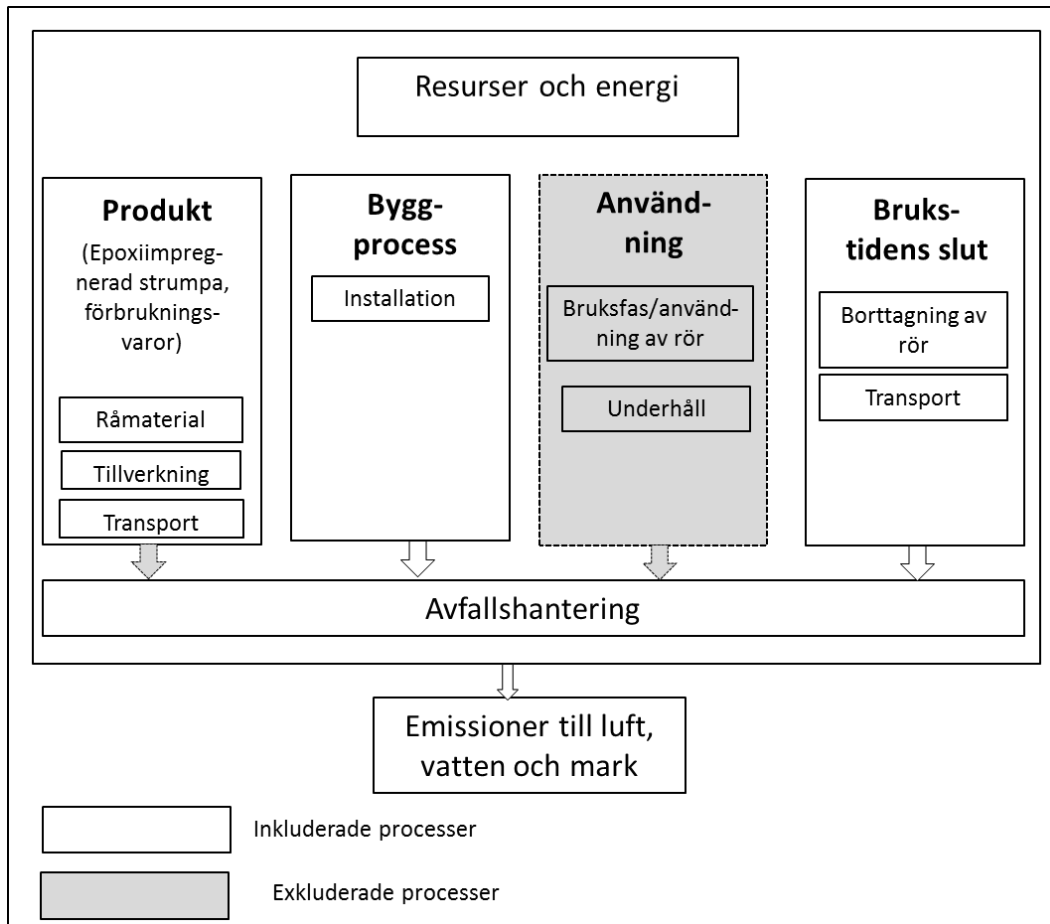
Den funktionella enheten som valts för jämförelse av de två metoderna för renovering av avloppsstammar är en byggnad som består av 29 lägenheter med en teknisk livslängd på 50 år. Femtio år valdes också som den tekniska livslängden för resultatet av de båda metoderna, såsom diskuterats i avsnitt 2.4. Systemgränserna gjordes enligt modulerna i standarden EN15804 / 15978. CEN (2011). EN 15978: 2011 Hållbarhet hos byggnadsverk - Värdering av byggnaders miljöprestanda – Beräkningsmetod.

Eftersom studien är en jämförelse så, har processer och material som är identiska för både rörbyte och strumpmetoden inte tagits med. Exempel på sådant är de varor som används för rengöring, byggbodas, toalettvagnar och provisoriska vattenhoar för hyresgästerna etc. Det är svårt att uppskatta de resurser som behövs för dessa saker, som också är relaterade till projektets tidsram. Ett rörbytesprojekt tar vanligen längre tid än ett reliningsprojekt.

Den energi som används av handverktygen under installationsprocessen är medräknad i modelleringen; däremot inte själva produktionen av verktygen, eftersom det är svårt att säga precis hur mycket av denna som tillhör den aktuella installationsperioden. Dessutom ansågs det ha liten inverkan på resultaten.

Produktionen och avfallshanteringen av förpackningsmaterial för de varor som användes vid arbetet bedömdes inte eftersom det var för svårt att hitta data. Tillsammans använder de jämförda metoderna mer än 40 olika produkter.

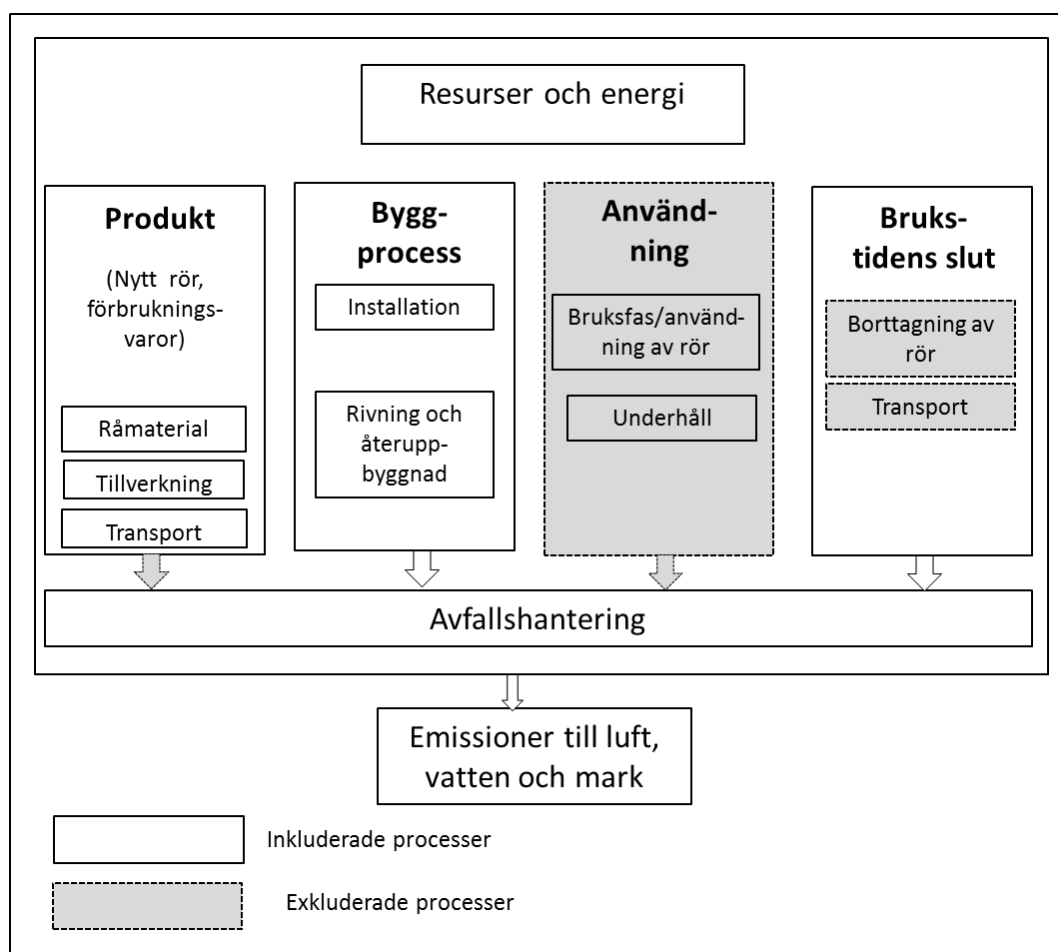
Industriell överskottsvärme och sådana flöden såsom vattenånga från förbränning, ingår ej i studien eftersom de anses vara obetydliga.



Figur 2. Förenklade systemgränser för LCA—modell av de inkluderade processerna för relining med strumpmetoden

De olika stegen och processerna som ingår i systemgränserna för strumpmetoden visas i Figur 2. De omfattar tillverkning av komponenter (strumpa och epoxiharts och förbrukningsmaterial), installationsprocessen och avfallshantering samt bortskaffande av uttjänt material. Alla dessa processer omfattar utvinning av råvaror och/eller energianvändning. Transport av komponenter till fabriken och byggplatsen där renoveringen görs har också modellerats.

Produktion av strumpan innefattar tillverkning av följande material: epoxihart, F-liner (fodermaterial som är en filt av polyesterfibrer) och härdningsmedlet. Tillverkning av förbrukningsartiklar omfattar produktion av följande material eller föremål: säckar, tyg, handskar, slangklämmor, smörjmedel, plasthinkar, plasthöljen, olika typer av primer, skyddskartong, rep, rengöringsmedel, silikon, remsor, tejp och vatten (Appendix A). Installationsprocessen modellerades som energianvändning för maskiner och verktyg som används för att installera liningmaterialet, det vill säga: kamera, kompressor, skärare, högtrycksenhet, mixer, skruvmejsel, ventilation (Appendix A).



Figur 3. Förenklade systemgränser för LCA-modell av rörbyte.

Livscykelstadierna och processerna som ingår i systemgränserna för rörbyte visas i Figur 3. Dessa tar med produktion av komponenter (nya rör och förbrukningsartiklar), rivningsarbete på de aktuella områdena (badrum och del av köket), installationsarbetet (byte av avloppsrör), återställning av de aktuella områdena och avfallshantering av uttjänt material. På samma sätt som systemgränserna för strumpmetoden inkluderas alla dessa processer inklusive utvinning av råvaror och/eller energianvändning. Transport av komponenter till fabriken och byggplatsen där renoveringen görs har också modellerats

I båda fallen utelämnas själva användningsfasen och även arbete med att ta bort rören efter att de tjänat ut. Detta berodde på att vi har goda skäl att tro att dessa är desamma för samtliga fall.

4.5 Modellering av avfallshantering

Avfall från de två rörrenoveringsmetoderna hanteras på samma sätt på byggplatsen. De sorteras grovt på plats, placeras i containrar som och transporteras bort när de är fyllda. För båda fallen var genomsnittligt avstånd till avfallsanläggningen 10 km. De modellerade avfallsscenarierna visas i Tabell 2.

TABELL 2

Avfallsscenarioer, relaterat avfall och vad som är modellerat i Simapro

Avfalls-behandling	Avfallstyper	Modellerad in Simapro som:
Förbränning	Textilfraktion Metalclips Återstående fraktioner	Avfallsförbränning av textilfraktion som kommunalt fastavfall (MSW), EU-27 Avfallsförbränning av ferrometaller, EU-27 S Avfallsförbränning av plaster (ospecificerade) som en fraktion i kommunalt fastavfall (MSW) EU-27
Högtemperatur-förbränning	Restmaterial från strumpmetoden	Hanteras som farligt avfall, 25% vatten, till förbränning av farligt avfall/CH U
Recycling	Gipsskivor Kartonger Mineralmassor (50 %)	Återvinning av gips Återvinning av kartongpapper/RER U Återvinning av mineralmassor
Avloppsrening	Förorenat vatten	Avloppsvatten- obehandlat, organiska kontaminanter EU-27 S
Deponi	Kakel och klinker Färg Betong, grus, gips (50 %)	Hantering av inert avfall, 5% vatten, till inert material på deponi/CH U Avfall av färg, 0% till inert material på deponi/CH U Betongavfall, 5% vatten, till inert material på deponi/CH U
Recycling av rör	PVC	Recycling PVC/RER U (Notera: Detta modellerades som en "empty process" eftersom den avslutades vid recycling. Nytt och kostnad för recycling allokeras till produktion av återvunnen PVC). Därför tas varken kostnader eller vinster av av recycling av PVC med i denna studie.

4.6 Avgränsningar

Eftersom studien var av jämförande typ modellerades endast miljö och fysiska skillnader. Det innebär att vi inte beaktade sådant som var desamma för både renoveringsmetoderna, såsom arbetsresor för byggarbetarna, arbetarnas standardverktyg, och byggbodarna. Endast metodspecifika material och sådant som var specifikt för det aktuella huset modellerades. Till exempel, huset som sådant beaktades inte vid slutet av brukstiden. Golvmaterialen ingick inte i inventeringen eftersom dessa material under alla omständigheter skulle rivs under byggnadens livslängd.

Det är värt att nämna att studien inte omfattade aspekter relaterade till konsekvenser för arbetstagarnas eller de boendes hälsa under arbetet. Studien omfattade inte heller de möjliga hälsoeffekterna för arbetstagare och boende av det damm som uppstår vid bilning i bjälklagen för byte av rör.

4.7 Jämförelse mellan strumpmetoden, sprutmetoden och borstmetoden

För att testa hur valet av reliningmetod påverkar det totala utfallet för relining i en jämförelse så gjordes även en översiktlig LCA för att jämföra strumpmetoden med två andra reliningmetoderna, sprutmetoden och borstmetoden, som båda ger en icke-strukturell relining. Det antogs att de flesta processerna är samma för alla tre; Hänsyn togs till skillnaderna i typen och mängden material och de sträckor materialen fraktas. De data som används för jämförelsen presenteras i Tabell 3. Tabellen visar en beräkning av mängden material som används vid denna relining, det är epoxi- och polyesterkompositer. Mängden material beräknades utifrån tekniska specifikationer samt hur stora ytorna var som skulle relinas. Avståndet för transport är sträckan från producentens anläggning och till byggplatsen (bilaga A).

TABELL 3

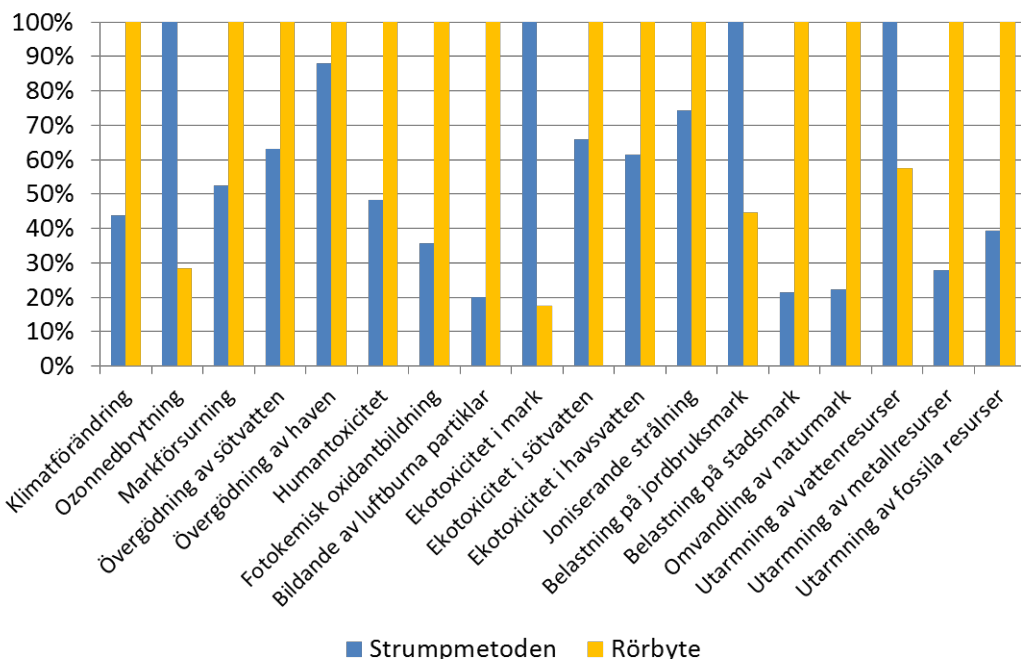
Data för jämförelse mellan strumpmetoden, borstmetoden och spraymetoden

Strumpmetoden	Borstmetoden	Sprutmetoden
Material		
244.9 kg epoxiharts (Se Appendix A) 36.6 kg F-liner, coating 93.8 kg filt till strumpan (Se Appendix A) 120.2 kg härdare	365.5 kg Epoxyharts (Polyesterharts, omättad, från fabrik/RER U)	415.4 kg harts för spray- metoden som består av: 70% omättad 29,9% glasfiber 0,1 % of Methyl ethyl ketone
Transport		
Epoxy: 965.5 km med lastbil och 49.3 km med skåpbil F-liner -coating: 1774 km med lastbil och 49.3 km med skåpbil Filt: 590 med fartyg, 1325 km med lastbil, 49.3 med skåpbil Härdare: 1926.5 km med lastbil och 49.3 km med skåpbil	450 km med lastbil och 50 km med skåpbil	587 km med lastbil

5 Resultat

5.1 Jämförelse mellan strumpmetoden och rörbyte

Jämförelser mellan strumpmetoden och rörbyte presenteras i Figur 4. Den visar påverkanskategorierna i tur och ordning. För varje kategori får metoden med den högsta belastningen en stapel med 100% i diagrammet. Den andra stapeln visar hur pass nära den andra metoden ligger i procent. Tabell 4 visar absoluta bidrag i mängd för den funktionella enheten för varje påverkanskategori, presenterad för de två metoderna.



Figur 4. Livscykelpåverkan från strumpmetoden och rörbyte (relativa värden).

Rörbyte visar den högsta belastningen i 14 påverkanskategorier, medan strumpmetoden har störst påverkan i fyra kategorier (ozonnedbrytning, ekotoxicitet i mark, belastning på jordbruksmark och vattenutarmning). Analys av vilka processer och material som bidrar till dessa fyra påverkningskategorier för strumpmetoden beskrivs nedan.

När det gäller ozonnedbrytning är det största bidraget till denna påverkan från strumpmetoden relaterad till användningen av förbrukningsvaror och mer specifikt handskar (vilket bidrar till 90 procent av den totala påverkan). Detta hänger samman med råvarorna (nitrilföreningar) för tillverkning av nitrilgummihandskar.

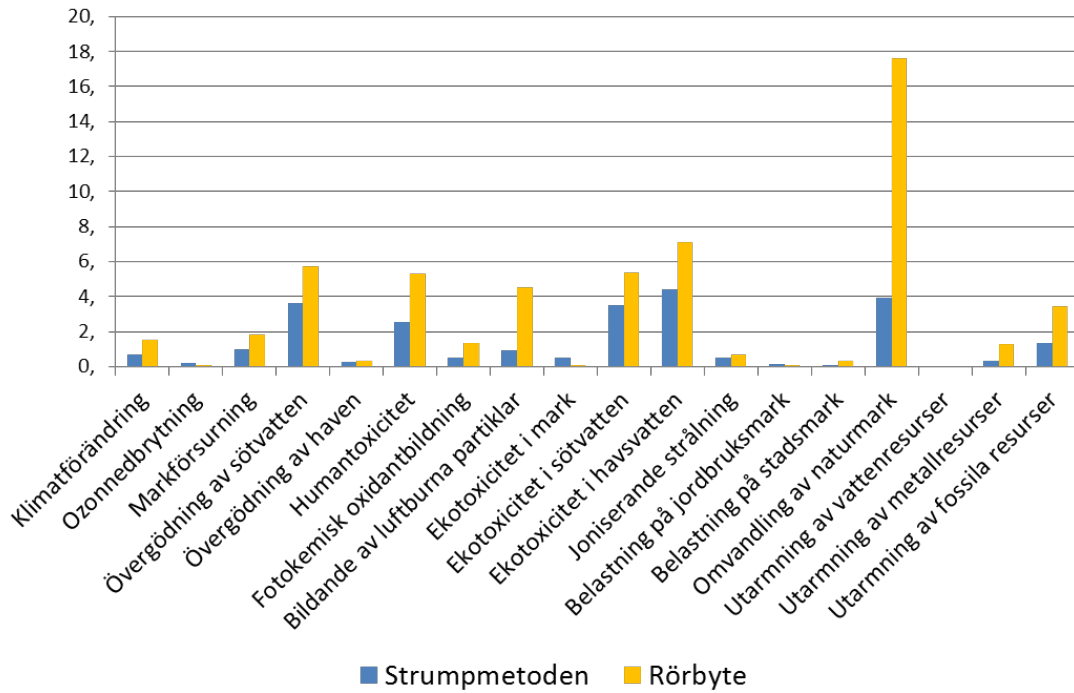
När det gäller ekotoxicitet i mark och belastning på jordbruksmark, är det största bidraget till påverkan från strumpmetoden också relaterat till användningen av förbrukningsvaror. Också när det gäller utarmning av vattenresurser är det största bidraget till påverkan av strumpmetoden beroende på användningen av förbrukningsvaror. Till exempel gäller 28 procent av den totala påverkan själva strumpan (det vill säga produktion av epoxiharts och polyesterfilt).

TABELL 4

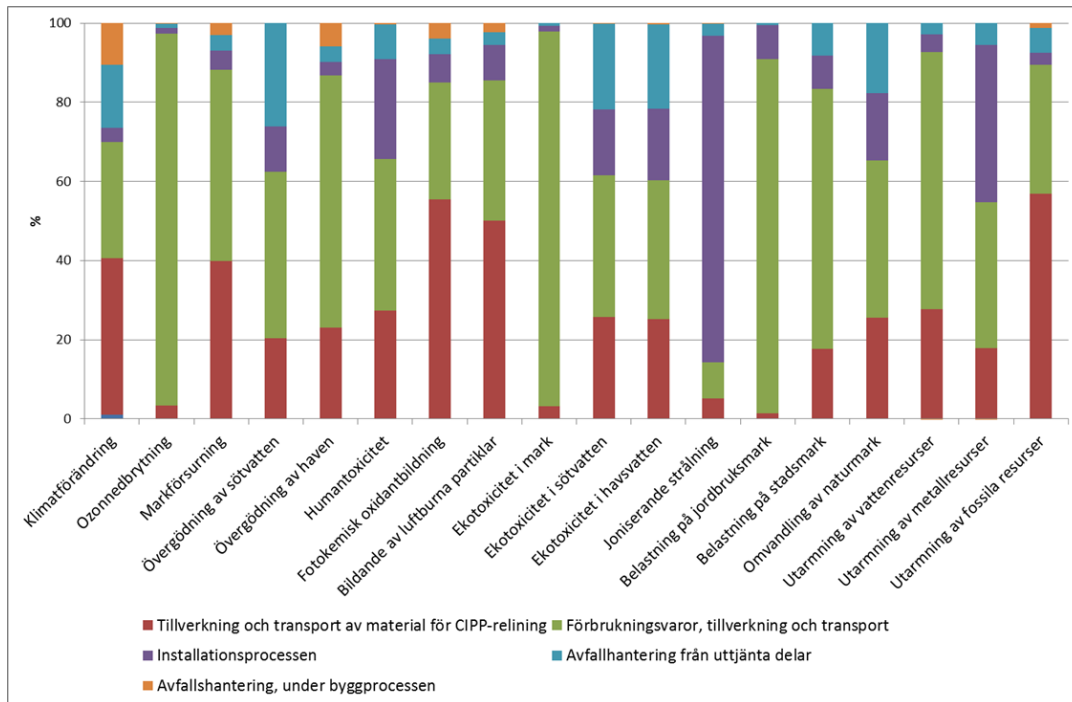
Total miljöbelastning för de studerade metoderna för varje påverkanskategori (för referensobjektet som består av 29 lägenheter).

Påverkanskategori	enhet	Strumpmetoden	Rörbyte
Klimatförändring	kg CO2 eq	7529,2	17207,3
Ozonedbrytning	kg CFC-11 eq	0,0	0,0
Markförsurning	kg SO2 eq	33,5	63,7
Övergödning av sötvatten	kg P eq	1,5	2,4
Övergödning av haven	kg N eq	2,8	3,2
Humantoxicitet	kg 1,4-DB eq	1611,7	3343,1
Fotokemisk oxidantbildning	kg NMVOC	26,9	75,1
Bildande av luftburna partiklar	kg PM10 eq	13,5	67,5
Ekotoxicitet i mark	kg 1,4-DB eq	4,0	0,7
Ekotoxicitet i sötvatten	kg 1,4-DB eq	38,7	58,9
Ekotoxicitet i havsvatten	kg 1,4-DB eq	38,1	61,9
Joniserande strålning	kBq U235 eq	3258,7	4383,7
Belastning på jordbruksmark	m ² a	744,0	331,6
Belastning på stadsmark	m ² a	29,7	138,0
Omvandling av naturmark	m ²	0,6	2,8
Utarmning av vattenresurser	m ³	540,0	311,3
Utarmning av metallresurser	kg Fe eq	250,5	900,7
Utarmning av fossila resurser	kg oil eq	2105,3	5337,1

Med tanke på de normaliserade resultaten kan det observeras att de påverkanskategorier som kan betraktas som viktiga i förhållande till genomsnittlig påverkan från europeisk medborgare är omvandling av naturmark, ekotoxicitet i havsvatten, ekotoxicitet i sötvatten, övergödning av sötvatten och ekotoxicitet i havsvatten. I alla dessa påverkanskategorier har rörbyte större påverkan än strumpmetoden. Figur 5 visar också att de fyra påverkanskategorierna för vilka strumpmetoden har högre bidrag än rörbyte ger små bidrag jämfört med medelvärdet för en europeisk medborgare.



Figur 5. Livscykelpåverkan från strumpmetoden och rörbyte (normaliserade värden)



Figur 6. Strumpmetoden; Hur olika livscykelsteg bidrar till påverkanskategorierna.

5.2 Analys av dominerande belastningar för de olika metoderna

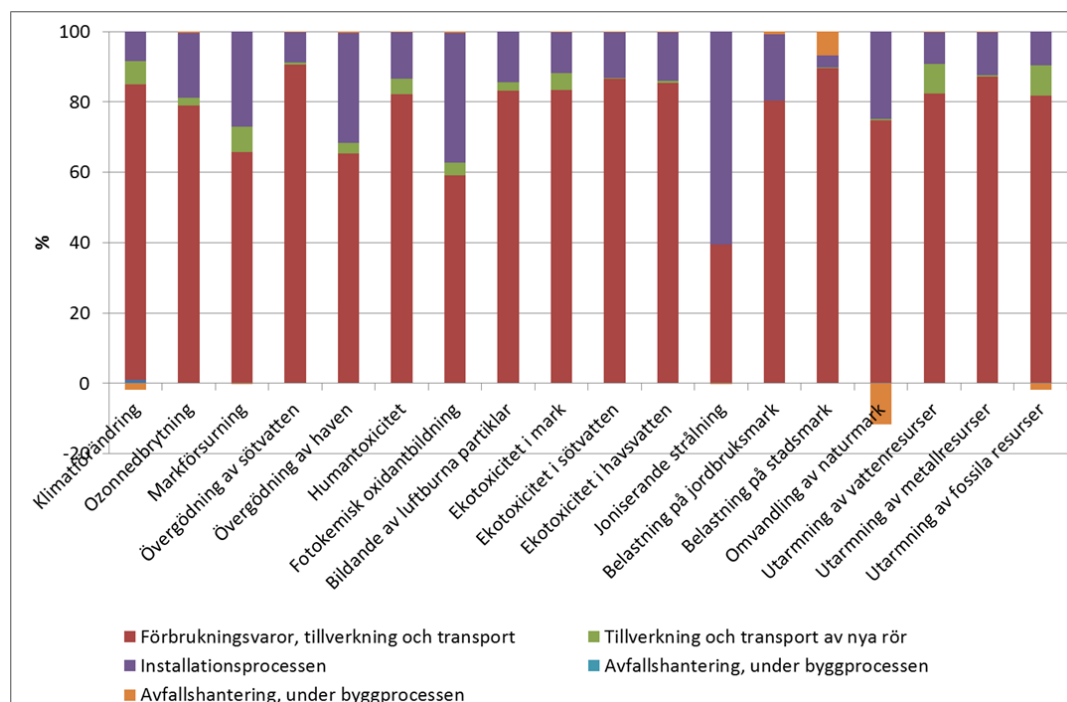
Figur 6 visar bidrag från olika livscykelsteg i strumpmetoden för alla påverkanskategorier. Produktionen och transporten av förbrukningsvaror har den dominerande andelen för sådana påverkanskategorier som ozonnedbrytning, övergödning av haven, ekotoxicitet i mark, belastning på jordbruksmark, belastning på stadsmark och utarmning av vattenresurser. Detta förklaras

främst av produktionen av sådana förbrukningsartiklar som handskar (som bidrar mest till konsekvensbedömningen av ozonnedbrytning) och bomullstraror (vilka bidrar mest till sådana påverkanskategorier som ekotoxicitet i mark, belastning på jordbruksmark, övergödning av haven, belastning på stadsmark och utarmning av vattenresurser).

Tillverkning och transport av material för strumpmetoden har en dominerande andel för sådana påverkanskategorier som fotokemisk oxidantbildning, bildande av luftburna partiklar och utarmning av fossila resurser. Den största bidragsgivaren till dessa påverkanskategorier är produktion av epoxiharts.

När det gäller utarmning av metallresurser och joniserande strålning är den största bidragsgivaren till denna påverkanskategori elförbrukning av en kompressor som används under installationsprocessen. När det gäller joniserande strålning beror detta främst på att den svenska elmixen har en hög andel kärnkraft. När det gäller utarmning av metallresurser beror detta främst på användningen av koppar för elnätet.

När det gäller utsläpp av växthusgaser är de största bidragsgivarna produktion av bomullstraror och produktion av epoxiharts för tillverkning av strumpan. Dessutom ger avfallshandling, både under byggprocessen och av uttjänta delar, betydande bidrag till denna påverkanskategori.



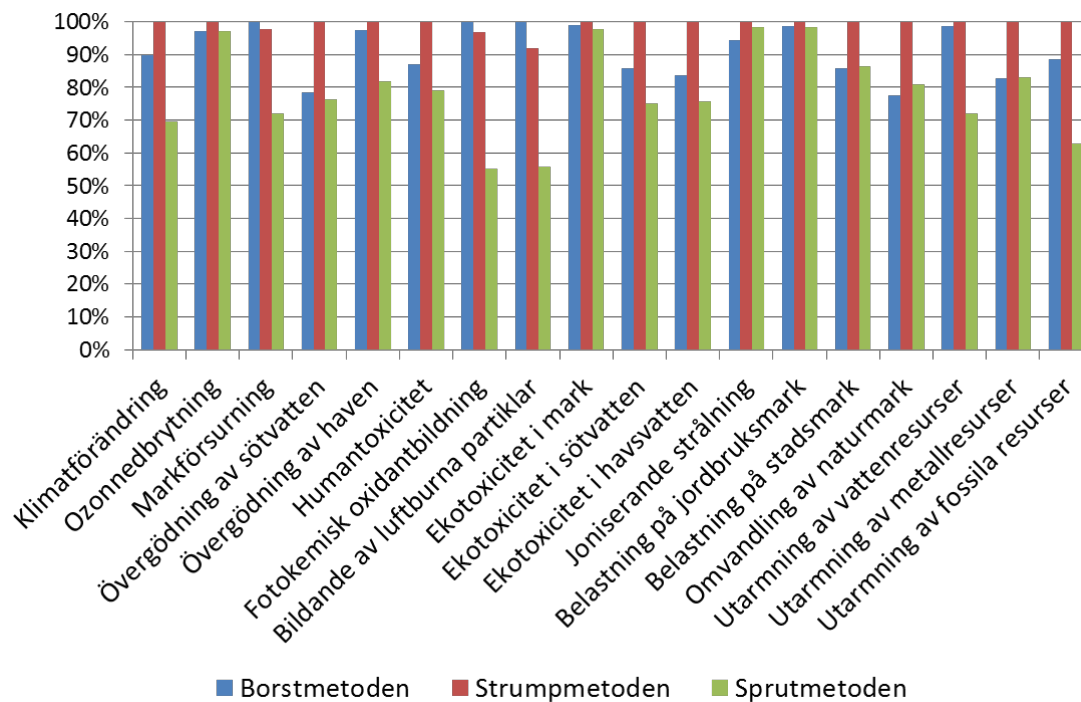
Figur 7. Rörbyte; hur olika livscykelsteg bidrar till påverkanskategorierna.

"Avfallshandling från uttjänta delar" är viktigt i "övergödning av sötvatten", "ekotoxicitet i sötvatten" och "ekotoxicitet i havsvatten", medan installationen i konstruktionen är viktigast för joniserande strålning och även för "humantoxicitet". Huvuddelen av el är för kompressorn som används för installationsarbetet.

Figur 7 visar bidrag från olika livscykelsteg och processer till de studerade påverkanskategorierna för rörbyte. När det gäller de viktigaste aspekterna för rörbyte så domineras alla påverkanskategorier utom joniserande strålning (för vilken installationsprocessen bidrar mer) av "Produkt: förbrukningsvaror, tillverkning och transport". Det här gäller tillverkning av förbrukningsmaterial som kakel (som har störst andel av påverkan för de flesta av påverkanskategorierna), samt EPS-cement, avjämningsmassa och material för vattentätning.

Joniserande strålning är relaterad till elanvändning för avfuktare för torkning under installationsfasen, vilket här gör det största bidraget.

När det gäller bidrag till klimatförändringar (det vill säga växthusgasutsläpp) är de största bidragsgivarna produktion av förbrukningsvaror, huvudsakligen i form av kakel, EPS-cement, avjämningsmassa och material för vattentätning. Det negativa bidraget i några av kategorierna i figurerna 6 och 7 beror på allokering av påverkan av avfallshanteringen.



Figur 8. Jämförelse mellan strumpmetoden, borstmetoden och sprutmetoden.

5.3 Miljöbelastningar från olika reliningmetoder

Fig 8 visar resultat av en översiktlig LCA som gjordes för att jämföra strumpmetoden med borstmetoden och sprutmetoden. Det kan noteras att strumpmetoden har större belastning än de två andra metoderna för de påverkanskategorier som har störst inflytande (nämligen omvandling av naturmark, ekotoxicitet i havsvatten, ekotoxicitet i sötvatten, övergödning av sötvatten och humantoxicitet). En orsak till denna skillnad är att transport av material och förbrukningsmaterial till byggplatser var kortare för borst- och sprutmetoderna (se tabell 4). Sprutmetoden använder även omättad polyester istället för epoxi. Detta förklarar varför sprutmetoden har en lägre påverkan än borstmetoden i ett antal kategorier. Likväl, strumpmetoden är en delvis bärande struktur (klass II) alltså en högre klass än de andra två metoderna, som är icke-strukturella liningsystem (klass I).

6 Diskussion

För att få en förståelse för storleksordningen för den miljöpåverkan som är förknippad med renovering av avloppsrör, måste den jämföras med andra byggrelaterade aktiviteter. Därför används data för bidraget till klimatförändringar av byggprocessen för två nybyggda bostadshus i Sverige, eftersom dessa studier använde samma metodik. En av byggnaderna hade betongstomme; här var byggprocessens bidrag till klimatförändring 350 kg CO₂e / m² uppvärmd golvyta (Liljenström et al., 2014) (CO₂e = koldioxidekvivalenter). Den andra byggnaden med stomme av korslaminerat virke visade sig ha ett bidrag till klimatförändring på 265 kg CO₂e / m² uppvärmd golvyta (Larsson et al. 2016).

För att få ett liknande nyckeltal för byggnaden i denna studie kan bidrag till klimatförändring från de olika renoveringsmetoderna normaliseras med det klimatiserade arean, vilken är 2540 m².

En beräkning som använder resultaten från tabell 4 ger resultaten 3,0 och 6,8 kg CO₂e / m² för strumpmetoden respektive rörbyte. Den studerade byggnaden har en betongstruktur, och kan därför vara jämförbar med betongbyggnaden ovan, även om den inte är lika energisnål. Under dessa förutsättningar kan rörbytet sägas ha ett bidrag till klimatförändringar som kan jämföras med 1,94 procent av att bygga byggnaden, medan motsvarande bidrag för strumpmetoden är ca 0,85 procent. Även om bidraget till klimatförändringar av rörbytet inte är särskilt stort jämfört med vad det skulle bli av att bygga ett nytt hus, så är påverkan av strumpmetoden definitivt mindre. Avloppsröret i fallstudien är ingjutet i betongbjälklagen på varje våning. Rörbytet görs genom att bila upp bjälklaget. Resultatet av denna jämförelse är visserligen begränsat till denna typ av konstruktion, vilken emellertid är mycket vanlig i Sverige.

I en studie med jämförelse mellan relining med sprutmetoden och rörbyte som SWEREA gjorde (2014) var resultatet att utsläppen av växthusgaser från rörbyte kan vara 4–8 gånger större för rörbyte än för relining. Livslängden för installationen har här stor betydelse. Studien visade att växthusgasutsläpp från rörbyte är 2,3 gånger högre än från strumpmetoden. Dessutom visade känslighetsanalysen som grovt uppskattade utsläpp för andra metoder (borst- och sprutmetoden) att växthusgasutsläpp från rörbyte kan vara 3,3 gånger högre än sprutmetoden och 2,5 gånger högre än för borstmetoden. Följaktligen liknar resultatet från detta studieresultatet från andra arbeten som lyfter fram skillnaden mellan reliningstekniker och rörbyte.

Några begränsningar i denna studie bör nämnas. Persontransporter är allt för svåra att bedöma eftersom ett byggföretag kan engagera ett varierande antal personer beroende på kontraktet och tidsplanen. Om persontransporterna hade varit med i denna studie skulle resultatet troligen blivit att rörbytet behöver mer transport för personalen än strumpmetoden, helt enkelt för att det tar mer tid att göra.

I en jämförelse mellan byte av rör och relining kan hänsyn tas till de olika alternativens generella karaktär. Rörbyte åtföljs av byte av ytskiktet på badrummen. Detta leder till höga kostnader och en lång tid för renoveringsarbetet. Det skapar också stort besvär för de boende eftersom de inte kan använda kök och badrum under en period på cirka en månad. Arbetet orsakar också ett betydande utsläpp av damm eftersom bjälklaget bilas upp. Relining kräver å andra sidan endast mindre ingrepp i lägenheten och arbetet är normalt klart på mindre än en vecka. Därför bör kostnaden för relining vara betydligt lägre än rörbyte. Dessutom bör miljöbelastningar relaterade till bodar för arbetarna vara större för rörbyte eftersom arbetet tar längre tid. Kvaliteten på den tekniska produkten från rörbytet borde dock vara bättre eftersom nya rör inte borde ha några brister, vilket dock kan befaras i ett relinat rör. Därför påverkas valet mellan metoderna av ekonomiska omständigheter, olägenheter för de boende och hur fastighetsägaren värderar alternativa teknologier. En kombination av dessa två metoder kan också användas. Till exempel,

när badrummet är gammalt och behöver renoveras, kan byte av rör vara ett lämpligt alternativ, och om det bara finns några få meter rör som behöver förbättras, är relining troligtvis det bästa alternativet.

Den slutliga produktens tekniska livslängd kunde inte bedömas inte här på grund av brist på data. Som nämnts ovan finns det tester som visar att materialet i reliningen kan hålla i 50 år, vilket också är så länge som man också kan förvänta sig efter ett rörbyte. Ett scenario med en andra relining efter 25 år kunde ha varit ett alternativ i analysen, men vi bestämde oss för att avstå från det på grund av bristen på erfarenhet av att göra en andra relining i ett rör som var relinat tidigare. En fråga är om en andra relining skulle leda till att rörets tvärsnitt blir för litet. Om livslängden för relining inte skulle vara mer än 25 år och en ny relining inte var möjlig, måste rörbyte åter ske tämligen snart. I ett sådant fall är relining inte lika gynnsam ur miljösynpunkt. Således behöver livslängd hos de relinate rören vara av samma storleksordning som utbytta rör för att strumpmetoden ska vara gynnsam ur miljösynpunkt jämfört med rörbyte.

Bisfenol A (BPA) har blivit en miljöfråga eftersom den tillhör en grupp av föreningar som stör några av människokroppens funktioner, särskilt det endokrina systemet. BPA avges av ett antal olika plastmaterial, och även från epoxihartser. Sådana utsläpp har resulterat i ett förbud mot användning av tvåkomponent epoxihartser vid relining av tappvattenrör i Sverige. Detta förbud bygger på ett worst case-scenarium (Kemikalieinspektionen 2013); Ett barn kan bli matat med mjölkersättning framställd på hälften varmt och hälften kallt vatten direkt från kranen. I vatten från kranvattenrör som är relinate med en-komponent epoxi var nivåerna av BPA lägre än detekteringsnivån. Detta hälsoproblem beskrivs också i en artikel av (Mikolajevska et al.). De menar att BPA, och även andra hormonstörare, inte helt kan elimineras från avloppsvatten under behandling i avloppsreningsverk. Dessutom kan BPA frisättas till miljön från BPA-förorenat avfall som är begravt i marken. BPA kan också släppas från jorden och förorena grundvatten. En slutsats från detta är att både valet mellan material och produktutvecklingen måste syfta till att minska utsläppen till miljön.

Studien ger idéer om hur förbättringar kan göras för båda metoderna. Epoxihartset är givetvis en viktig del av miljöbelastningen för strumpmetoden, så eventuell möjlighet att minska detta kommer att vara till hjälp. Dessutom bidrar förbrukningsmaterial som handskar och bomullstrasor också till miljöbelastningarna. Eftersom dessa är relaterade till hälsa och säkerhet är de nödvändiga, men det kan också vara möjligt att välja alternativa produkter med mindre miljöpåverkan.

Vid rörbyte är nytt kakel och klinker, EPS cement, avjämningsmassa och material för vattentätning nödvändiga, även om de utgör en stor del av miljöbelastningen. Detsamma gäller för avfuktningen som behövs i byggfasen, som förbrukar en stor mängd el.

7 Slutsatser

Man kan utifrån resultatet av LCA-studien dra slutsatsen att i byggnader där avloppsrören är ingjutna i betongbjälklag har relining med strumpmetoden fördelar jämfört med rörbyte under förutsättning att den tekniska livslängden är densamma för båda metoderna. De redovisade resultaten av miljöpåverkan (Figur 4) visar en fördel för strumpmetoden framför rörbyte i 14 av de 18 påverkanskategorier som studerats. När det gäller de kategorier där påverkningarna är relativt stora, i förhållande till den genomsnittliga miljöpåverkan av en europeisk medborgare enligt ReCiPe, har metoden rörbyte större påverkan i jämfört med relining med strumpmetoden. Påverkningarna av rörbyte är i allmänhet relaterade till nya klinkerplattor, EPS-cement, avjämningsmassa och materialet för vattentätning, och även till el som behövs för torkning av bjälklagen. Relining med strumpmetoden visar högre påverkan än rörbyte i fyra kategorier. Denna påverkan orsakas till stor del av användningen av förbrukningsmaterial som handskar och bomullstrasar. Sammanfattningsvis visar studien att från ett LCA-perspektiv finns fördelar för relining med strumpmetoden jämfört med rörbyte under förutsättning att den tekniska livslängden är densamma för båda metoderna. Ändå är osäkerheten om livslängden, liksom utsläpp av BPA, fortfarande problematiska frågor som behöver vidare studier. Det finns också andra skillnader mellan de metoder som i slutändan kommer att påverka fastighetsägarens metodval, såsom kostnaden, olägenheter för de boende, behovet av att renovera ytskikt i badrummet och hur fastighetsägaren själv värderar alternativa teknologier. Resultaten av denna studie kan öka medvetenheten om olika alternativ för stamrening både hos ingenjörer och fastighetsägare.

En tanke är att när avloppsrör för bostäder ska dimensioneras så kan det vara motiverat att välja en något större rördimension än nödvändigt för att ge utrymme i röret för relining i framtiden.

Framtida studier av hur resultatet i praktiken blivit i byggnader där olika metoder för stamrening har använts skulle ge en bättre förståelse kring resultaten av denna studie.

Slutliga kommentarer

Detta arbete är en utvidgad version av en magisteruppsats skriven av Daniel Berglund, som bearbetats av de andra författarna. Finansiellt stöd från Forskningsrådet Formas erkänns tacksamt. Arbetet ingår i det FORMAS-finansierade projekt SIREn; *Nationell stark transdisciplinär forskningsmiljö för helhetsyn på hållbar renovering.*

Referenser

- Allouche, E., et al. 2014. A pilot study for retrospective evaluation of cured-in-place pipe (CIPP) rehabilitation of municipal gravity sewers. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 39, 82-93.
- AWWA, 2014. Manual M 28 Rehabilitation of Water Main, American Water Works Association (AWWA).
- Berglund, D., 2015. Life cycle assessment comparison of CIPP-lining and traditional pipe replacement. (Degree Project in Environmental Strategies, Second Cycle). Royal Institute of Technology (KTH). Tillgänglig på: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-169935>
- BKN, 2008. Upprustning av miljonprogrammets flerbostadshus - Statlig medverkan i finansieringen.: Statens bostadskreditnämnd (BKN)
- EPA, 2014. National Database Structure for Life Cycle Performance Assessment of Water and Wastewater Rehabilitation Technologies (Retrospective Evaluation). United States Environmental Protection Agency.
- Finnveden, G., et al. 2009. Recent developments in Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management*, 91(1), 1-21.
- Hall, T. and Vidén, S. 2005. The Million Homes Programme: a review of the great Swedish planning project. *Planning Perspectives*, 20, 301-328.
- Håkansson, S., 2013. Relining med strumpmetoden (in Swedish) (Relining with Slip-lining). Svensk Fjärrvärme AB, Stockholm, Sweden.
- Insituform, 2016a. Cured-in-Place Pipe for Industrial Applications [online]. Available from: <http://www.insituform.co.uk/Wastewater/Industrial-CIPP> [Accessed August 18 2016].
- Insituform, 2016b. Installation Method [online]. Available from: <http://www.insituform.com/Wastewater/InsituMain/InstallationMethod> [Accessed August 18 2016].
- ISO 14044 2006. Environmental management- Life cycle assessment- Requirements and guidelines.
- ISO, 2006. ISO 14040 International Standard. In: *Environmental Management– Life Cycle Assessment – Principles and Framework*. Geneva, Switzerland.: International Organisation for Standardization.
- Kemikalieinspektionen 2013, Avgivning av bisfenol A (BPA) vid renovering av dricksvattenrör – Redovisning från ett regeringsuppdrag ISSN: 0284 -1185 (2013).
- Kharazmi, P. and Björk, F. 2016a. Influence of High Temperature and Humidity on Polymer Composites Used in Relining of Sewage. *International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering Vol:10 no1, 2016, p42., 10(1), 42-49.*
- Kharazmi, P. and Björk, F., Investigation of Relined Rehabilitated Piping in Residential Buildings. ed. *Proceedings of the CIB World Building Congress 2016: Volume V - Advancing Products and Services, 2016b Tampere University of Technology. Department of Civil Engineering. Construction Management and Economics.*

Klintberg, T. A., et al., 2011. Reliningrapport 2011 (in Swedish) (Relining report). Stockholm, Sweden.

Landberg, G. and Nilsson, D., 2012. En miljöjämförelse av traditionellt stambyte kontra relining av tappvattenrör - Med hjälp av livscykelanalys (in Swedish) (An environmental comparison of traditional pipe replacement versus relining for drinking water pipes- Using Life Cycle Assessment). (Bachelor thesis). Uppsala University.

Larsson et al 2016, Byggandets klimatpåverkan, Mathias Larsson, Martin Erlandsson, Tove Malmqvist and Johnny Kellner, Livscykelberäkning av klimatpåverkan av ett nyproducerat flerbostadshus med massiv stomme av trä.

Liljenström et al 2014, Liljenström, C., Malmqvist, T., Livscykelberäkning av klimatpåverkan och energianvändning för ett nyproducerat energieffektivt flerbostadshus i betong, Avdelning för miljöstrategisk analys (fms) KTH, Byggandets klimatpåverkan.

Lindqvist, P., Jönsson, J. and Ekvall, T., 2013. Miljonprogrammet- Förutsättningar och möjligheter. Prognoscentret.

Mikolajevska et. al., Bisphenol A – Application, Sources of Exposure and Potential Risks in Infants, Children and pregnant Women, Joanna Stragieerowicz, and Jolanta Gromadzinska, International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health 2015;28(2):209 – 241, <http://dx.doi.org/10.13075/ijomh.1896.00343>

Muraoka, M. and Wada, Y., 2008. Life Cycle Assessment of Sewer Rehabilitation Methods. 11th International Conference on Urban Drainage. Edinburgh, Scotland, UK.

Najafi, M., 2010. Trenchless technology piping: Installation and inspection. McGraw Hill Professional.

Nimmerfors, J., 2012. Avloppsreovering med relining (in Swedish) (Sewer renovation with relining). (Bachelor thesis). Chalmers tekniska högskola.

Proline Group AB, 2016. The PROSOC Method [online]. Available from: <http://proline-group.com/prosoc-method> [Accessed August 3 2016].

PRé, 2016. Introduction to LCA with SimaPro.

SABO, (2013). Att upphandla relining – beställarhandbok för reovering av spillvattenledningar i bostadshus (in Swedish) (To procure relining - client handbook for renovation of wastewater pipes in residential buildings): SABO, Sveriges Allmännyttiga Bostadsföretag (the Swedish Association of Public Housing Companies).

Sterling et al , Ray Sterling, Jadranka Simicevic, Erez Allouche, Wendy Condit and Lili Wang, State of technology for rehabilitation of wastewater collection systems, United States Environmental Protection Agency, Contract No. EP-C-05-057, Task Order No. 58 (2010).

Stockholm Vatten, (2011). Vattentrycket (in Swedish) (Water pressure). Available from <http://www.stockholmvatten.se/globalassets/pdf1/informationsmaterial/broschyrer/om-stockholm-vatten/stockholm-vatten-historik> [Accessed August 30 2016].

SWEREA, 2014. Relining av avloppsrör i bostadshus (in Swedish) (Relining of sewer pipes in residential houses).

Tillman, A.-M. 2000. Significance of decision-making for LCA methodology. Environment Impact Assessment Review, 20(1), 113-123.

VVS-FÖRETAGEN 2009. Renoveringshandboken - för hus byggda 1950-1975 (in Swedish) (Renovation Handbook - for the houses built in 1950-1975).

Wall, D. and Nilén, S., 2014. Analys av energieffektivitet vid renovering av fastigheter. (Kandidatuppsats). Tillgänglig på: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-148093>

Wood, E., 1977. Method of lining a pipe. United States Patent.

Viden, S., Schönning, K., Nöre, K., 1985, Flerbostadshusen i Sverige, Kvaliteter och brister, ombyggnadsbehov och möjligheter. , ISBN 91-540-4442-1

Appendix A

Dataset för: Comparative life-cycle assessment for renovation methods of wastewater sewerage systems for apartment buildings - Appendix on data and how life-cycle assessment was modelled in the LCA toolset SimaPro for the article.

Den är tillgänglig på: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-225157>