



ENGINEERING & ECONOMY



VATTENLEDNINGSRÖR
AV ROSTFRITT STÅL
- ANALYS AV
LIVSLÄNGDSKOSTNADEN

Gråjärn:

Gjutjärn med 3,5-4 % kolhalt, där kolet ligger i form av kantiga grafitfjäll i strukturen. Gråjärn är sprött med liten slaghållfasthet och seghet. Rostar i vatten.

Segjärn:

Gjutjärn med 3,5-4 % kolhalt, där grafiten efter en metallurgisk behandling ligger i form av kulor i strukturen (sfäroidal grafit). Segjärnets hållfasthet är betydligt högre än gråjärnets och liknar stålets. Rostar i vatten.

PVC:

Polyvinylklorid (PVC) är en hårdplast, dvs. ett organiskt material som åldras och blir sprött under inverkan av tryck och UV-ljus. Materialet korroderar ej i vatten.

Rostfritt stål:

Typ SS 2333: Innehåll av 18% krom och 9% nickel gör stålet rosthärdigt i rent vatten och samtidigt segt, formbart och svetsbart. Typ SS 2347: Innehåller 17% krom, 11,5% nickel och 2,2% molybden, vilket gör stålet rosthärdigt även i salthaltig eller syrahaltig miljö. För övrigt samma egenskaper som SS 2333. För mera aggressiva korrosionsmiljöer används även högre legerade rostfria stålsorter.

VATTENLEDNINGSRÖR AV ROSTFRITT STÅL – ANALYS AV LIVSLÄNGDSKOSTNADEN

av Sten von Matérn, Avesta AB

Dricksvatten, vårt viktigaste livsmedel, distribueras till konsumenten genom nedgrävda ledningar av olika material. Nära 60% av ledningsnätet i Sverige är av gjutjärn (gråjärn och segjärn), en tredjedel av plast (PVC och FE) och resten stål. Gråjärnet var förr det vanligaste materialet, men numera väljer man i första hand rör av segjärn eller plast.

Gjutjärnsrören rostas med tiden sönder eller spricker av sättningar i marken, men även nyare plastledningar brister av olika skäl. Den vanligaste orsaken är fogskador, men även utmattningsprickor på rören orsakade av tryckslag i ledningarna och trafikbelastning. Även initialskador i samband med lagring och hantering av plaströren kan senare bidra till brott.

Vattenförlusterna i det svenska ledningsnätet uppgår till över 20% av producerad mängd. I vissa kommuner når närmare 40% aldrig mottagaren. Läckorna orsakar stora kostnader såväl för reparationer som vattenförluster. Med rost och ledningsskador följer också risk för missfärgningar och inblandning av smutsigt grundvatten i vattenledningarna, ibland även från intilliggande otäta avloppsledningar. Ökade luftföroreningar och sura nedfall gör även grundvattnet surare. Därmed utsätts rören för ökade korrosionsangrepp både utvändigt och invändigt.

Både ekonomiska och hygieniska skäl talar alltså för att man närmare bör överväga användning av rör av rostfritt stål för distributionen av dricksvatten.

LIVSLÄNGDSKOSTNAD - LCC

Att endast jämföra anskaffningskostnader vid val mellan olika materialalternativ kan lätt leda till felaktiga slutsatser och dyrbara konsekvenser på längre sikt. En allt vanligare metod för materialvalsanalyser är att jämföra livslängdskostnaderna. Denna värderingsmetod är särskilt lämplig när det gäller system som kräver lång tids störningsfri funktion och då underhåll och driftstopp kan vålla höga kostnader. Metoden brukar skrivas LCC (Life Cycle Cost = livslängdskostnad).

Analys av livslängdskostnader används även vid projektering av komplicerade tekniska system med höga krav på driftsäkerhet och ekonomi t ex inom försvaret, transportmedelsindustrin (flyg, tåg) och kraftföretagen (offshore, kärnkraft). I dessa sammanhang är beräkningarna ofta så komplicerade att det krävs avancerade datorsystem för att utföra analyserna. Mindre komplicerade materialvalsanalyser enligt LCC-metoden kan dock med fördel göras genom enkla manuella beräkningar.

Vi skall här först beskriva själva principen för en LCC-beräkning och sedan göra en direkt tillämpning på rör för vattendistribution.

Det första steget i LCC-analysen är att fastställa vilka materialalternativ som är aktuella och vilken livscykeltid man vill bedöma. Livslängdskravet i sig kan vara mycket olika för olika typer av anläggningar. Inom områden med snabb teknikutveckling kan 5-10 år vara rimlig. Andra mera kapitalintensiva verksamheter kan behöva 25-30 år eller längre. För byggnadsindustrin är t ex 50 år en vanlig ekonomisk livslängd.

I LCC-kalkylen gäller det att enbart arbeta med relevanta kostnader d.v.s. de som direkt eller indirekt påverkas av de aktuella materialalternativen. Förutom materialkostnaden kan det vara fråga om kostnader för montage, drift, underhåll, driftstopp, utbyten samt eventuellt restvärde vid användningstidens slut. Likaså måste man ha en uppfattning om vilka tidsintervall, som kan bli aktuella för de olika kostnaderna under den valda livscykelperioden. Detta är kvalificerade bedömningar som kräver tillgång till både erfarenhet och kunskaper inom det aktuella området.

Innan de olika kostnadsposterna kan utvärderas måste de som utfaller varje år och de som utfaller vid vissa tidsintervall under livscykelperioden räknas om till nuvärdet för att bli jämförbara och kunna adderas. Denna omräkning sker enkelt med hjälp av tillgängliga räntetabeller. (I princip ger ju nuvärdesberäkningen det belopp som idag måste sättas in på ett räntebärande konto för att täcka en kostnad som utfaller vid en senare tidpunkt.) Beräkningen baseras lämpligen på realräntan, vilken med tillräcklig noggrannhet kan beräknas ur skillnaden mellan bankränta och inflationstakt. Prisökningar förutsätts för övrigt ske i takt med inflationen. En vanlig realräntenivå är 4-5%.

För den matematiskt intresserade kan beräkningen av LCC också skrivas på följande sätt:

$$LCC = AC + IC + \sum_{i=1}^N \frac{C_i}{(1+r)^i} + \sum_{j=1}^a \frac{(A_j - R_j)}{(1+r)^{i(j)}}$$

där:

- AC = anskaffningskostnaden för materialet eller produkten
- IC = tillverknings- och/eller installationskostnaden
- C_i = operationskostnaderna år i (för kontroll, underhåll, drift och stillestånd)
- A_j = kostnaden för det j :te utbytet av förbrukat system
- R_j = restvärdet hos det utbytta eller förbrukade systemet
- r = realräntan, % dividerat med 100
- a = antalet utbyten under livscykeltiden
- N = livscykeltiden för anläggningen, år

Den matematiska modellen kan tjäna som mall för ett datorsystem med vars hjälp man snabbt kan utföra ett antal simuleringar med olika värden på variablerna. Modellen kan naturligtvis vid behov kompletteras med flera variabler som skatteeffekter, avskrivningar, lagerkostnader, etc.

BERÄKNING AV LCC FÖR OLIKA RÖRMATERIAL

Vi kommer i det följande att tillämpa LCC-metoden för att utvärdera alternativen segjärn, PVC och rostfritt stål för en 100 mm ledning avsedd för distribution av vatten. Underlaget är baserat på informationer från VA-branschen i Sverige i mars-april 1990:

Förutsättningar

System: Huvudledning för dricksvatten för svensk stadsbebyggelse (Avesta och Göteborg).
Livscykelperiod 100 år. Realränta 4 %.

Materialalternativ

	Segjärn	PVC	Rostfritt
Typbeteckning	VRS	PN 10	SS 2343 (316)
Dimensioner	Ø 118x6,1	Ø 110x5,3	Ø 102x1,0
Pris, netto, kr/m	150:-/314:-	66:-	300:-
Vikt, kg/m	19,6	2,6	2,6

Segjärnsrören finns i två olika utföranden. Det vanligaste (och billigaste) har ett invändigt korrosionsskydd av betong och utvändigt ett asfaltskikt. Det dyrare segjärnsröret har en yttre plastbeläggning och är avsett för mera korrosiva grundvattenmiljöer. Anskaffningspriset ligger i det senare fallet i samma nivå som det rostfria rörets. Kalkylen är dock här baserad på det billigare segjärnsröret. Priserna inkluderar dragsäkra kopplingar resp. förankringar (PVC). Rör av mjuk polyetylen (PE) används också för vattendistribution, men sådana används sällan i dimensioner över 63 millimeters diameter och har därför utelämnats i denna analys.

I prisjämförelsen ovan är alltså PVC-röret det billigaste alternativet. Priset är mindre än hälften av det vanliga segjärnsrörets och nästan en femtedel av det rostfria rörets. Observera den låga metervikten hos rören av rostfritt och PVC, vilken är till särskild fördel ur hanteringssynpunkt.

Installationskostnad

På grund av de klimatiska förhållandena i Sverige måste vattenledningarna läggas på frostfritt djup, dvs. 2-2,5 meter under marknivån. Oftast lägger man tre ledningar, för vatten, avlopp och dagvatten, i samma grav. De två sistnämnda är ofta av betong i dimensionerna 200-400 millimeters diameter.

Nyanläggningskostnaden för en sådan ledning i en större stad (Göteborg) är ca 2800 kr per meter, vari ingår kostnader för projektering, förberedelser, schaktning, rörläggning, material, återfyllning

och återställande av gatubeläggningen. Med detta belopp förutsätts att sprängning eller spåntning inte behöver ske. I tät stadsbebyggelse försvåras dock arbetet av trafik och nödvändiga hänsyn till andra ledningssystem över och under marken, varför kostnaden blir avsevärd.

En sanering av ett gammalt ledningssystem, dvs. utbyte av gamla ledningarna mot nya, medför ofta den dubbla kostnaden jämfört med en nyanläggning. Anledningen är komplikationer i form av senare lagda korsande elkablar mm. Vi kan alltså konstatera att skillnaderna i materialkostnader för de olika röralternativen ovan är av ganska marginell betydelse när det gäller tät stadsbebyggelse.

Vår kalkyl förutsätter en okomplicerad sanering, utanför tät stadsbebyggelse, där vattenledningen byts ut mot något av alternativen segjärn, PVC eller rostfritt stål. Kostnaderna enligt svenska branschdata för goda markförhållanden (KP-fakta, justerade för projekterings-, förberedelse- och återställningsarbeten) blir då följande:

Installationskostnader, kr/m.

	Segjärn	PVC	Rostfritt
Rörmaterial	150	66	300
Installation	750	735	735
S:a installerad kostnad	900	800	1 035

Utbyteskostnaden efter uttjänad tid antages även i det här fallet bli den dubbla, dvs. 1800 och 1 600 kr/m för segjärn respektive PVC.

Underhållskostnader

De vanligaste orsakerna till läckor är som nämnts inledningsvis ledningsbrott och korrosion hos gjutjärnsrör och långsgående sprickor och brustna skarvar hos PVC-rör. Brott och sprickor orsakas främst av vibrationer från tung trafik och marksättningar i samband med tjällossning eller överbelastningar. Korrosionsangreppet på rör av segjärn (även gråjärn och stål) sker främst på rörens utsida från jord eller grundvatten. För rostfria rör har ännu inga läckor rapporterats. Erfarenhetsunderlaget är visserligen relativt begränsat. I Sverige finns dock installationer av rostfria vattensystem med upp till 30 års problemfri användning.

I USA har man efter olika undersökningar (under 8 resp. 14 år) med rostfritt stål i jord av olika karaktär konstaterat att stål av typ SS 2333 och SS 2347 har hög korrosionsbeständighet. I mycket aggressiva jordar med hög kloridhalt kan dock typ SS 2333 angripas av punktfrätning (1). I Japan pågår också långtidsprov av rostfria rör i olika markförhållanden (2). Resultaten hittills, efter 5 år, bekräftar slutsatserna från den amerikanska undersökningen. Det är särskilt intressant att konstatera att i Tokyo pågår sedan 1987 ett projekt att byta ut befintligt ledningssystem för 4,5 miljoner hushåll mot rör av rostfritt stål. Det beräknas ta tio år i anspråk och motiveras bl. a genom minskat vattenläckage.

Observationer av haverifrekvenserna hos vattenrör av segjärn och PVC i Avesta och Göteborg 1986-89 har sammanfattats nedan. Kostnaden för läcksökning och reparation vid varje haveri kan variera mellan 20 000 och 50 000 kr per gång, exklusive kostnader för vattensador och andra konsekvenser för trafik, industrier och hushåll. För kalkylen väljer vi ett normalvärde på 20 000 kr:

Reparationer

	Segjärn	PVC	Rostfritt
Antal per 10 km och år	0,4-0,7* ggr	0,6-1,2* ggr	0
D:o per km och 100 år	4-7 ggr	6-12 ggr	-
Genomsnitt per 100 år	5 ggr/km	10 ggr/km	-
Tidsintervall per km	20 år	10 år	-
Kostnad per gång	20 000 kr	20 000 kr	-
Ekonomisk livslängd	50-100 år	50-60 år	> 100 år

*) genomsnittet för 11 undersökta kommuner under 1986 var 0,4 för segjärn och 1,0 för PVC.

Vattenförluster

Läckorna på ledningssystemen ger som nämnts tidigare upphov till stora vattenförluster, i genomsnitt ca 22% i Sverige. En betydande del av läckaget (troligen hälften) kommer från gamla system av gjutjärnrör och andra material som ej längre väljs i nyare installationer. För de på senare år vanliga materialen, segjärn och PVC, är ett genomsnittligt läckage av 10% av producerad vattenvolym troligen ett mera rimligt antagande.

Marginalkostnaden för producerat renat vatten är ca 0,50 kr per kubikmeter, vilket också motsvarar kostnaden för vattenförlusterna eftersom pumpkapaciteterna sällan är fullt utnyttjade. Tillämpat på statistik för de undersökta orterna kan de årliga kostnaderna för läckaget beräknas enligt följande. Vi förutsätter samma förluster med de båda materialalternativen segjärn och PVC.

	Avesta	Göteborg
Vattenproduktion, milj. m ³ /år	2,7	64,3
Läckage 10 % (ca hälften av nuv.)	0,3	6,4
Ledningslängd, km	216	1566
Läckage per km, m ³ /år	1400	4100
Marginalkostnad per km, kkr/år	0,7	2,1
Vägt genomsnitt, kkr/km år	1,0	

De rostfria rören anses ej kunna läcka, men vi räknar ändå försiktigtvis med hälften av ovanstående (0,5 kkr/km år), eftersom erfarenheterna av gummitätningen ännu är relativt begränsade.

LCC-kalkylen

Med utgångspunkt från dessa olika kostnadsposter kan vi nu sammanställa LCC-kalkylen för de tre materialalternativen. Vi räknar här med en lång livscykelperiod (100 år), vilket motiverar en realräntenivå av 3% för nuvärdesberäkningen:

Kostnader, kkr/km (= kr/m)

	Segjärn		PVC		Rostfritt
Installerad kostnad	900	ack. 900	800	ack. 800	1035
Underhåll:					
Reparation av läckor					
år	räntefaktor	(x 20)		(x 20)	
10	0,744	-	-	14,9	14,9 -
20	0,554	11,1	11,1	11,1	26,0 -
30	0,412	-	11,1	8,2	34,2 -
40	0,307	6,1	17,2	6,1	40,3 -
50	0,228	-	17,2	Utbyte 40,3	-
60	0,170	3,4	20,6	3,4	43,7 -
70	0,126	Utbyte	20,6	2,5	46,2 -
80	0,094	1,9	22,5	1,9	48,1 -
90	0,070	-	22,5	1,4	49,5 -
Utbyte av system					
år	räntefaktor	(x 1800)		(x 1600)	
50	0,228	-	-	364,8	364,8 -
70	0,126	226,8	226,8	-	364,8 -
Summa underhåll		249,3	249,3	414,3	414,3 0

Vattenläckage, årlig (ack.)	Segjärn	PVC	Rostfritt
år räntefaktor	(x 1,0)	(x 1,0)	(x 0,5)
10	8,53	8,5	4,3
20	14,88	14,9	7,5
30	19,60	19,6	9,8
40	23,11	23,1	11,6
50	25,73	25,7	12,9
60	27,68	27,7	13,9
70	29,12	29,1	14,6
80	30,20	30,2	15,1
90	31,00	31,0	15,5
100	31,60	31,6	15,8

Om vi nu summerar de ackumulerade kostnadsposterna för respektive år ovan får vi följande totalkostnader för de tre materialalternativen:

Totalkostnader, kkr/km (kr/m)

År	Segjärn	PVC	Rostfritt
0	900	800	1035
10	908,5	823,4	1039,3
20	926,0	840,9	1042,5
30	930,7	853,8	1044,8
40	940,3	863,4	1046,6
50	942,9	1230,8	1047,8
60	948,3	1236,2	1048,8
70	1176,5	1240,2	1049,5
80	1179,5	1243,1	1050,1
90	1180,3	1245,3	1050,5
100	1180,9	1245,9	1050,8
Summa LCC, 100 år, (nuvärden) kr/m:		1181	1246 1051

Resultatet visas även grafiskt i fig. 1.

SLUTSATSER

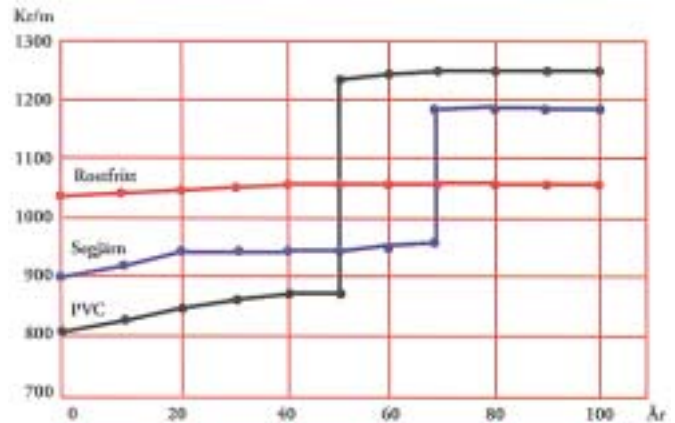
Redan efter det första utbytet av PVC- och segjärnsrören, dvs. efter här beräknade 50 respektive 70 år, har de ackumulerade nuvärdeskostnaderna för dessa material passerat rostfritt stål (typ SS 2343). Sett över en livscykelperiod på 100 år blir följaktligen det rostfria röret också det mest ekonomiska. Den stora skillnaden i anskaffningspris mellan rör av rostfritt och alternativen PVC och segjärn åts successivt upp under användningstiden till följd av kostnaderna för reparationer och läckor.

En känslighetsanalys med andra förutsatta kostnader för reparationer eller utbyten låter sig enkelt göras. Om t ex reparationskostnaden för läckor sätts till 40000 kr per tillfälle, dvs. den dubbla mot antagandet i beräkningen ovan, multipliceras nuvärdena för reparationer med 2 före summeringen. Kurvorna för segjärn och PVC parallellförskjuts då uppåt med värdena 22,5 resp. 49,5 kkr/km från brytpunkterna. På samma sätt kan nuvärdena t ex halveras, om man vill pröva inverkan av hälften så stora kostnadstal.

I kalkylerna har inte hänsyn kunnat tas till de hygieniska aspekterna för de olika rörmaterialen. Inte heller har effekter av leveransstörningar eller vattenskador vägts in. Gör man detta bör det rostfria materialet i ännu högre grad framstå som det mest attraktiva alternativet.

REFERENSER

1. Gerhold W F, Sanderson B T, NACE/Corrosion 81, Paper no 128
2. Osozawa K, First Global Market Development Forum ..., May 1988
3. E & E: Livslängdskostnaden LCC - ett nytänkande vid materialval, Avesta AB, Inf. nr 8935.



Figur 1:
Livslängdskostnader för olika material i rör för vattendistribution



Läggning och hopfogning av vattenledningsrör av rostfritt stål från Rostfria VA-system i Storfors AB.





AVESTA AB, S-774 80 AVESTA, SWEDEN
TEL +46 226 810 00, TELEFAX +46 226 812 99