

2005-10-16
A602-42
Norrbro, upprustning

FÖRSTUDIE

för upprustning av Norrbro

Innehållsförteckning.....	Sid
1 Sammanfattning	3
2 Bakgrund	4
3 Norrbros uppbyggnad	4
3.1 Södra Norrbros uppbyggnad.....	5
3.2 Uppbyggnad av Norrbros del över Helgeandsholmen	6
3.3 Norra Norrbros uppbyggnad.....	7
3.4 Den ursprungliga fuktisoleringen.....	8
4 Tidigare utförda förstärkningar och reparationer.....	8
4.1 Grundförstärkningar av Södra och Norra Norrbro.....	8
4.2 Ny fuktisolering på Norra och Södra Norrbro	9
4.3 Reparation av valv och fasader på Södra Norrbro	9
4.4 Reparation av valv och fasad vid håvfiskarna valv.....	9
5 Utförda undersökningar	10
5.1 Provgropar	10
5.2 Kärnbörningar.....	12
5.3 Inspektioner och kontrollavvägningar	14
6 Skadeomfattning	15
6.1 Sättningsskador och grundläggning.....	15
6.2 Skador i stenvalven.....	16
6.3 Inläckage av vatten.....	19
6.4 Skador på fasader	20
7 Förslag till åtgärder	22
7.1 Grundförstärkning.....	22
7.2 Fuktisolering	23
7.3 Reparationer på Norrbros del över Helgeandsholmen	24
7.4 Reparationer på Södra och Norra Norrbro.....	25
8 Omgivningspåverkan av grundförstärkning och fuktisolering	26
8.1 Trafiken.....	26
8.2 Medeltidsmuseet och Café Strömparterren	27
8.3 Fortum Distributions nätstation.....	27
9 Samråd.....	27
9.1 Stockholms stadsmuseum	27
9.2 Gatumiljön	27

10	Förslag till översiktlig tidplan	27
11	Kostnadsuppskattning	28
11.1	Merkostnad pga hänsyn till kulturhistoriska värden	29
12	Konsekvensbeskrivning och riskbedömning	29
12.1	Utebliven grundförstärkning av Norrbros del över Helgeandsholmen	29
12.2	Utebliven fuktisolering	29
12.3	Uteblivna fasadreparationer	30

Fotografier på försättssidan:

1. Södra Norrbro	2. Norrbros del över Helgeandsholmen, fasad vid Medeltidsmuseet
3. Gång i Norra Norrbros norra landfäste under Gustav Adolfs torg	4. Norra Norrbro

2005-10-16
A602-42
Norrbro, upprustning

FÖRSTUDIE

för upprustning av Norrbro

(8 bilagor)

1 Sammanfattning

Grundförstärkning

Norrbro har sättningar som är ojämna och medför att konstruktionen bryts sönder. Skadorna har hittills visat sig som sprickor i valvkonstruktionerna och spruckna och lösa stenar. I ett valv har ena anfanget satt sig ca 5 cm mer än det andra, vilket lett till sprickbildningar och risk att lösa stenbitar faller ner.

De senaste kontrollmätningarna visar att sättningarna accelererar.

Kärnbörningar och provgropar visar att grundläggningen är undermålig: den saknar både pålar och rustbädd. De visar även att grundmurarna delvis är byggda på lager av lera.

Norrbro del över Helgeandsholmen bör grundförstärkas inom kort. Därigenom kan risken för personskada och risken att konstruktionen försätts i ett oreparabelt skick elimineras.

Grundförstärkningen utförs med borrade och injekterade stålplåtar, så kallade micropålar, ner till ca 15 m under mark. Det är nödvändigt att utföra pålningen både på valvens insida och utsida. Påltopparna gjuts in och förbinds med valvens grundmurar med en längsgående betongbalk som på insidan är belägen under golvet och på utsidan är belägen på motsvarande nivå.

Fuktisolering av valven

Norrbro valv på Helgeandsholmen bör förses med fuktisolering samtidigt med grundförstärkningen. Den ursprungliga tvåhundra år gamla fuktisoleringen har sedan länge förlorat sin skyddande funktion.

År 1930 konstateras att den befintliga fuktisoleringen behöver bytas ut men "att några nämnvärda olägenheter icke behöva befaras inom de närmaste 10 å 15 åren".

Det inläckande vattnet orsakar störningar för Medeltidsmuseets verksamhet och förorsakar nedbrytning av valvkonstruktionerna genom urlakning och frysskador.

Behovet av fuktisolering är inte lika akut som behovet av grundförstärkning, men skulle, om den utförs i ett senare skede, orsaka lika omfattande störningar som grundförstärkningen. Genom att utföra fuktisoleringen samtidigt med grundförstärkningen kan de sammanlagda störningarna minimeras och schakt, ledningsomläggningar samt nya gång- och körbanor behöver inte utföras ytterligare en gång.

Reparationer av valven och fasaderna på Norrbros del över Helgeandsholmen

Reparationer av valven och fasaderna på Norrbros del över Helgeandsholmen bör utföras efter grundförstärkningen.

Kostnader och tidplan

Kostnaden för grundförstärkning, fuktisolering och stenarbeten på Norrbros del över Helgeandsholmen uppskattas till ca 100 miljoner kronor.

Projekteringen inleds förslagsvis år 2006 och entreprenaderna färdigställs år 2008.

Omgivningspåverkan

De schaktarbeten som krävs för grundförstärkningen och fuktisoleringen omfattar stora delar av ovanförliggande gång- och körbanor. Under entreprenaden kommer fordonstrafik över Norrbro inte att vara möjlig. En körväg på temporära körbryggor för transporterna till Riksdagens garage och varuintag föreslås dock via Södra Norrbro.

Grundförstärkningsarbetena i valven medför att de måste utrymmas under byggtiden. De verksamheter som påverkas är Medeltidsmuseet och Café Strömparterren samt Fortum Distributions nätstation.

2 Bakgrund

På uppdrag av Trafikkontoret har KFS AnläggningsKonstruktörer AB utfört förstudie av renovering av Norrbro omfattande:

- historisk utredning av Norrbro,
- sammanställningsritningar,
- provgropar för stödmursdelen på Helgeandsholmen och kärnbörningar i valven under Norrbros del över Helgeandsholmen (Medeltidsmuseets lokaler) för att klarlägga dess grundläggning,
- förslag med kostnadsuppskattning för grundförstärkning, anordnande av fuktisolering av valven samt reparation av stenmurskonstruktionerna.

3 Norrbros uppbyggnad

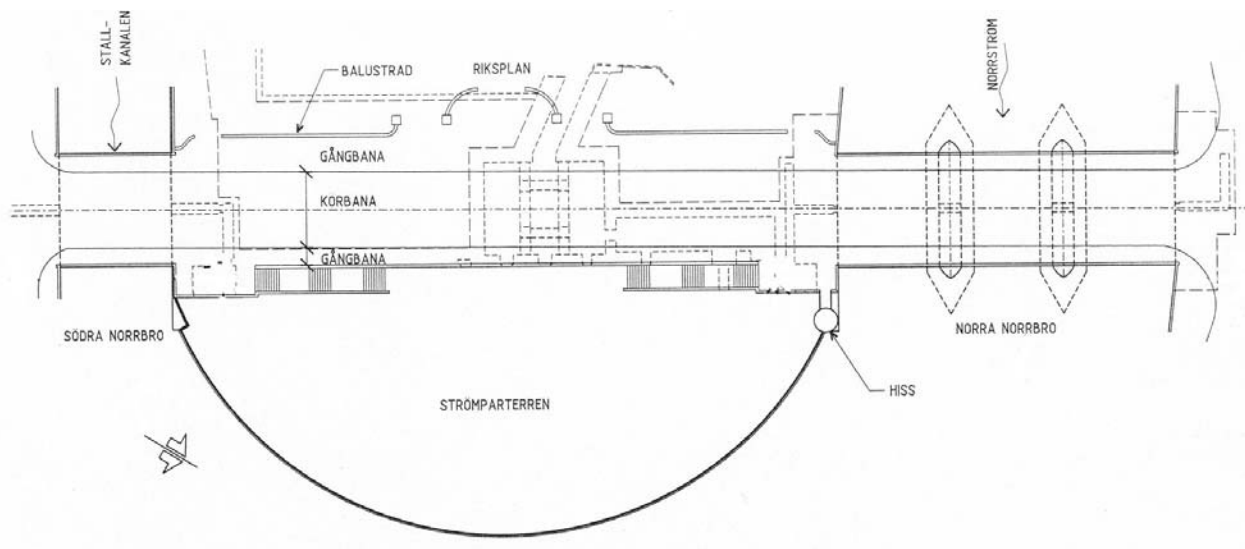
Norrbro byggdes under tiden 1757 till 1807 som en fast förbindelse över Norrströms båda grenar mellan Slottets norra entré (Lejonbacken) och nuvarande Gustav Adolfs torg. Bron är en stenvalvbro med stora spännvidder och den var vid uppförandet ett exempel på banbrytande teknik i Sverige. Brobygget drabbades dock av stora tekniska problem, bland annat raserades Södra Norrbros landfästen av vårfloden 1780.

Målsättningen med områdets planering och arkitektur har sedan Tessins plan för anordnandet av slottsomgivningarna från år 1712 varit att manifesteras stormakten Sveriges centrum och dess huvudstad.

Norrbrons komposition är klassicistisk med valv av Roslagssandsten och fasader i släthuggen granit, balusterdockorna är av gjutjärn. Bropelarna är prydda av vattenkaskader i grön Kolmårdsmarmor.

Norrbro består av tre delar:

- Södra Norrbro över Stallkanalen,
- Norrbrons del över Helgeandsholmen samt
- Norra Norrbro över Norrström, se översiktsplan i figur 1.



Figur 1. Översiktsplan Norrbro.

Brons totala längd är ca 190 m och bredden mellan räckena är ca 18 m.

Norrbro är Stockholms äldsta bro och den enda kvarvarande stenvalvbron. Dess trottoarer var de första i staden och Strömparterren nedanför Norrbro är Stockholms första kommunala park.

3.1 Södra Norrbrons uppbyggnad

Södra Norrbro är en valvbro i ett spann över södra strömgrenen med fri spännvidd ca 19 m (32 alnar), se figur 2. Dess brovalv är så kallade tunnvalv, med mycket flack förtryckt valvbåge, se förklarande skisser i bilaga 1.



Figur 2. Södra Norrbro

Valven är ca 1,5 m tjocka och är uppbyggda av Roslagssandsten med undantag för de tre nedersta skiften närmast anfanget samt fasadstenarna som är av granit.

Fasaderna och balustraderna är byggda av finhuggen granitsten med ca 30 cm:s tjocklek, mestadels från stenbrottet vid Djurgårdsbrunn. Balustraderna är försedda med så kallade balusterdockor av gjutjärn. Stenblocken är hopfogade med grova järndubbar och kramlor som blyats eller svavlats fast. Dubbarna är förankrade med järn in i bakomliggande sandstensvalv. Fasadstenarna är arrangerade som valvstenar över valvöppningarna och i övrigt i liggande skift. Slutstenarna i brovalvens mitt är försedda med upphängningsjärn som är förankrade i de angränsande fasadstenarna.

Grundläggningen består av ett stort antal träpålar, vilka bär upp en kraftig rustbädd av trä.

3.2 Uppbyggnad av Norrbros del över Helgeandsholmen

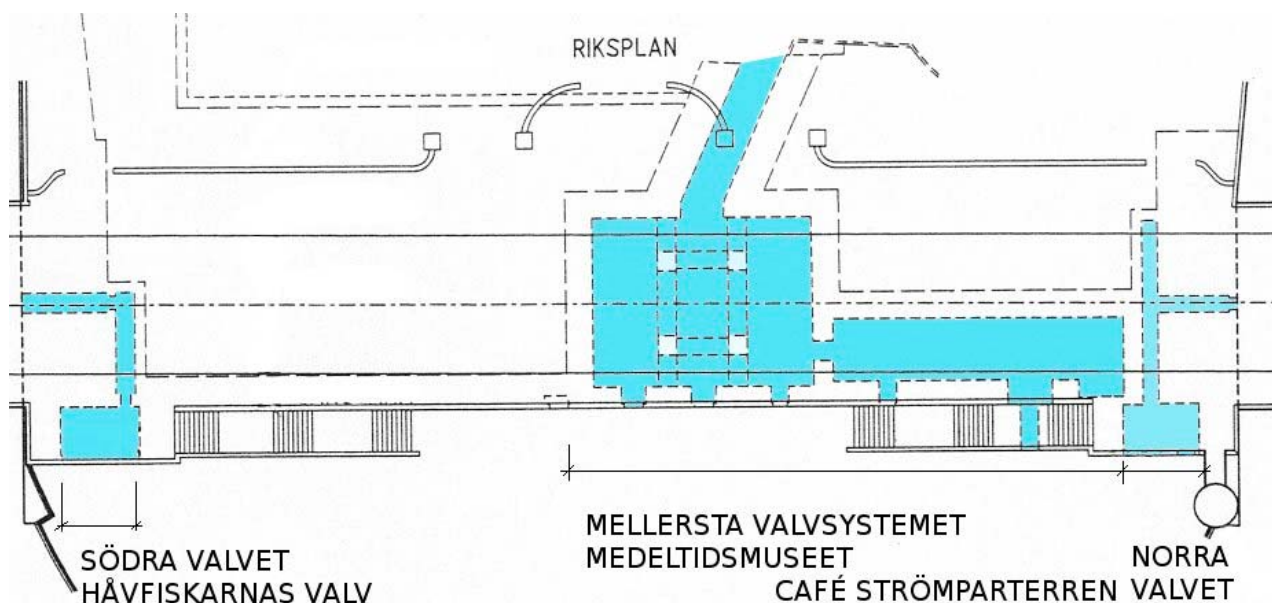
Norrbros del över Helgeandsholmen är uppbyggd av flera tvärs- och längsgående valv samt stödmurar och trappor. Brons längd över holmen är ca 114 m.

Valven kan delas in i tre system, se [figur 3](#).

Det södra valvet, som utnyttjas av håvfiskarna, har ingång från Strömparterren samt en gång som mynnar under Södra Norrbros landfäste.

Det mellersta valvsystemet består av ett antal valv och inrymmer entréhall och administrativa lokaler till Medeltidsmuseet i sin södra del och en restaurang, Café Strömparterren, i sin norra del.

Det norra valvet, som inrymmer en nätstation, har ingång från Strömparterren och en gång som mynnar under Norra Norrbros landfäste.



Figur 3. Valven under Norrbros del över Helgeandsholmen.

Dessa valv är dels sk stickvalv och dels tunnvalv, uppbyggda av sandsten med ca 0,5 - 0,75 m tjocka valv. I valvens överyta har iakttagits kramlor vilka sammanbinder stenarna.

Fasaderna är uppbyggda av finhuggen granitsten, löpstenarna är ca 3 dm djupa och bindstenarna upp till ca 7 dm. Andelen bindstenar har visat sig lokalt vara mycket låg och dess djup alltför litet. Stenarna hålls samman med grova järndubbar och kramlor som blyats eller svavlats fast i stenblocken. Grova ankarjärn förbinder fasadstenarna med bakomliggande murkropp eller stenvalv. Murkroppen är uppbyggd av oregelbundna stenar lagda i bruk.

Grundläggningen är, enligt iakttagelserna från provgroparna och kärnborringarna, utförd som låga grundmurar med delvis bristande sammanhållning byggda på jordar med otillräcklig bärförmåga.

3.3 Norra Norrbros uppbyggnad

Norra Norrbro utgörs av en valvbros i tre spann över norra strömgrenen med fri spannvidd ca 16 m (27 alnar), total längd är ca 57 m, se [figur 4](#).



Figur 4. Till vänster: Norra Norrbros fasad, till höger: vattenkaskad av grön Kolmårdsmarmor.

Brovalven, balustraderna och brofasaderna och grundläggningen är konstruerade på samma sätt som för Södra Norrbro.

Norra Norrbros pelare är försedda med prydnadsstenar av grön Kolmårds-marmor föreställande vattenkaskader, se figur 4.

3.4 Den ursprungliga fuktisoleringen

Ursprunglig fuktisolering utgjordes på Södra Norrbro och på den södra delen över Helgeandsholmen av ett 0-3 dm tjockt lager av kalkfyllning med inblandning av skifferbruk. På den norra delen över Helgeandsholmen och på Norra Norrbro utgjordes den av ett 1-2,5 dm tjockt lager med puddlad lera, det vill säga lera som homogeniserats genom mekanisk bearbetning på plats. Den ursprungliga fuktisoleringen bedöms ha haft en begränsad livslängd.

4 Tidigare utförda förstärkningar och reparationer

Tidigare utförda förstärkningar och reparationer sammanfattas i nedanstående tabell. Reparationer av stenarbeten, omfogningar samt reparationer av erosionsskydd utförda före 1940 har ej tagits med.

Entreprenad	Södra Norrbro	Norrbros del över Helgeandsholmen	Norra Norrbro
Grundförstärkning	år 1981	Ännu ej utförd	År 1908-11, 1917-18, 1925, 1981
Fuktisolering	år 1981-82	Fungerande lösning ännu ej utförd	år 1981-82
Valvreparationer	år 2000	år 2005: ett valv Ännu ej utförda: 5 valv	Ännu ej utförd
Fasadreparation	år 2000	år 2005: 19 m Ännu ej utförda: 105 m	Ännu ej utförd
Balustradreparation	Ännu ej utförd	år 2000: 10 m år 2005: 19 m Ännu ej utförd: 95 m	Ännu ej utförd

4.1 Grundförstärkningar av Södra och Norra Norrbro

Norra Norrbros norra mellanstöd förstärktes under åren 1908-1911 genom inpressning av cementbruk i hålrummet under rustbädden och genom utläggning av en stenslänt runt pelaren.

Norra Norrbros södra mellanstöd förstärktes åren 1917-1918 genom betonggjutning, inpressning av cementbruk och utläggning av en stenslänt runt pelaren.

Norra Norrbros södra landfäste undergjöts år 1925 och samtidigt kompletterades undergjutningen under norra mellanstödet, se [figur 5](#).

Undergjutning av Södra och Norra Norrbros landfästen genom nedborrade stålrör och komplettering av erosionsskydd har utförts år 1981.

4.2 Ny fuktisolering på Norra och Södra Norrbro

Södra Norrbro och Norra Norrbro försågs med ny fuktisolering år 1981-1982. Fuktisoleringen utfördes på en ny tunn betongplatta som placerades under de befintliga ledningarna som först fick flyttas, se figur 5. Den tidigare fuktisoleringen från 1807, som sedan länge förlorat sin skyddande funktion, bestod av kalkfyllning med inblandning av skifferbruk på Södra Norrbro och av puddlad lera på Norra Norrbro.



Figur 5. Till vänster: grundförstärkning av Norra Norrbro år 1925, till höger: ny fuktisolering på Norra Norrbro år 1982.

Den nya fuktisoleringen anordnades inte över landfästena utan begränsades i längsled till en längd motsvarande broarnas balustrader.

4.3 Reparation av valv och fasader på Södra Norrbro

Södra Norrbros brovalv och fasader reparerades år 2000. Ett stort antal skadade stenar och stenbortfall åtgärdades. De 1,5 m höga slutstenarna i brofasaderna byttes ut.

Den mycket bristfälliga fogningen, med fogar tomma på ett djup upp till 3-8 dm åtgärdades. Fogningen föregicks av fullskaleförsök för att utveckla och testa lämplig fogningsteknik.

4.4 Reparation av valv och fasad vid håvfiskarna valv

Vid håvfiskarnas valv genomfördes år 2005 reparation av valvet, gången innanför och ca 19 löpmeter stenfasad och balustrad.



Figur 6. Reparationsarbetena år 2005. Till vänster: fasad som pga bristande sammanhållning demonterats, till höger: den återuppbyggda fasaden.

Reparationen av valven omfattade ett antal stenskador och sprickor samt en skada i valvtaket med ett större hålrum ovanför. Reparationerna av fasaden omfattade nedplockning till marknivå, ersättning av ett större antal skadade stenar och återuppmurning av fasaden, se [figur 6](#).

Erfarenheterna från de genomförda arbetena visar att avsaknaden av en fungerande fuktisolering och alltför eftersatt underhåll till slut leder till att murverket förlorar sin sammanhållning och inte längre kan repareras på plats utan måste demonteras och byggs upp på nytt.

5 Utförda undersökningar

Förstudien bygger på:

- tidigare undersökningar och utredningar,
- undersökningar av provgropar och borrhärlor,
- inspektioner av fasader och valv,
- historiskt material från arkivsökningar och litteraturstudier samt
- dokumentation och erfarenheter från utförda entreprenader.

De tidigare undersökningarna har bland annat redovisats i:

- "Norrbro, reparationsbehov" KFS, daterad 1997-06-13, i vilken reparationsbehovet översiktligt beskrevs utifrån då tillgänglig kunskap.
- "Rapport, renovering av Södra Norrbros valv och fasader" KFS, daterad 1999-09-06.
- "Rapport över provgrop vid södra delen av Norrbro på Helgeandsholmen" KFS, daterad 1999-11-25.
- "Rapport över undersökning av stödmurens ovansida vid södra delen av Norrbro på Helgeandsholmen" KFS, daterad 2001-08-15.
- "Rapport över förprojektering för reparation av Södra delen av Norrbro på Helgeandsholmen vid håvfiskarnas valv" KFS, daterad 2002-08-08.

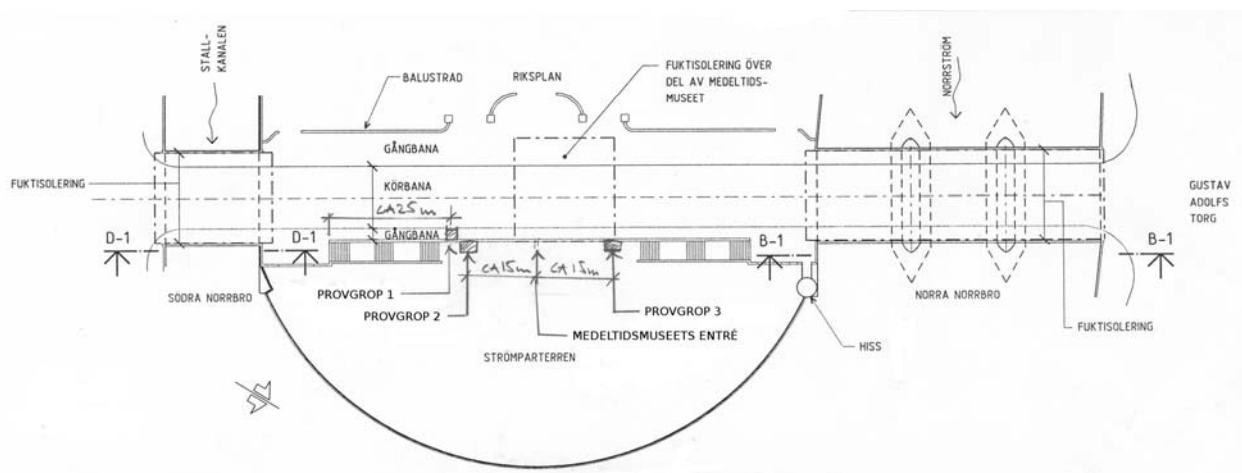
5.1 Provgropar

Tre provgropar har schaktats upp på Norrbros del över Helgeandsholmen under september 2005. Syftet var att undersöka utformning och utsträckning

på baksidan av den del som utgörs av en stödmur (provgrop nr 1) samt att undersöka grundläggningen (provgrop nr 2 och 3).

Provgroparna placerades enligt skiss i [figur 7](#).

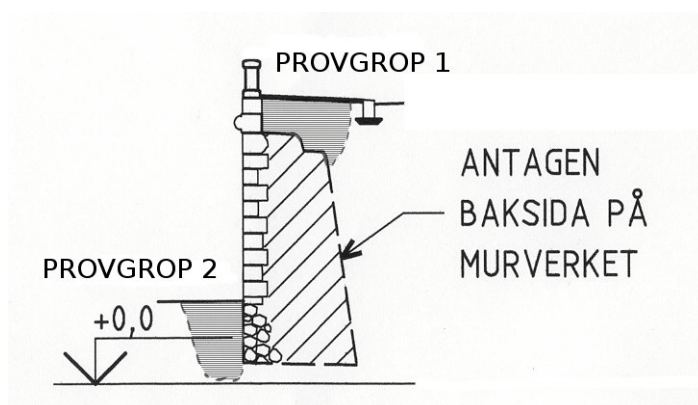
Samtliga nivåer är angivna i höjdsystemet RH00.



Figur 7: Planskiss, placering av provgropar

5.1.1 Provgrop nr 1

I provgrop nr 1 uppmättes murkroppens överyta och dess bredd, se [figur 8](#).



Figur 8. Skiss, tvärsnitt av provgrop 1 och 2.

5.1.2 Provgrop nr 2

I provgrop nr 2 undersöktes stödmurens grundläggning, se figur 8 och skiss i [bilaga 2](#).

Grundmuren är uppbyggd av olikformiga stenar satta i kalkbruk. Den är grundlagd ca 1,6 m under markytan (nivå ca +0,5 m). Massorna under grundmuren utgörs av utfyllnadsmassor bestående av sand, bruksrester, sten och lager av lera samt tegelrester. Bruket i grundmuren uppvisar tydliga tecken på nedbrytning.

Grundläggningens stabilitet är oklar.

5.1.3 Provgrop nr 3

I provgrop nr 3 undersöktes stödmurens grundläggning, se [figur 9](#) och skiss i [bilaga 3](#).



Figur 9. Grundmuren i provgrop 3.

Grundmuren är ner till ca 1 m under markytan uppbyggd av olikformiga stenar satta i delvis nedbrutet kalkbruk. Från 1,0 m till ca 1,7 m under markytan är grundmuren uppbyggd av lösa stenar, 0,2-1,0 m stora, utan bruk. Den är grundlagd ca 1,7 m under markytan (nivå ca +0,4 m) på utfyllnadsmassor bestående av sand, grus, sten och lager av lera.

Horisontella glipor mellan stenarna i de olika lagren visar att grundmurarna är skadade av sättningar. Gliporna är mellan 10 till 40 mm vida, se [figur 10](#).

Grundläggningens stabilitet bedöms vara undermålig.

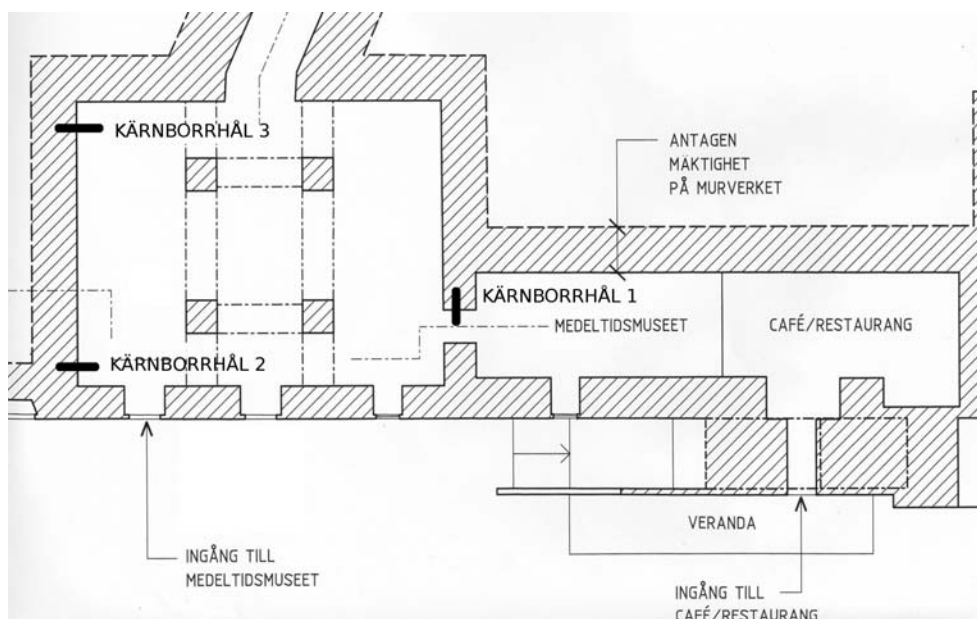


Figur 10. Horisontella glipor i grundmuren orsakade av sättningar, vidd ca 40 mm.

5.2 Kärnborrningar

Tre kärnborrningar har utförts under september-oktober 2005 i Medeltidsmuseets lokaler i valven under Norrbros del över Helgeandsholmen. Syftet var att undersöka grundläggningens utformning. Kärnborrningarna utfördes med diameter 130 mm ner genom valvanfangens grundmurar i 45° vinkel. Efter uppmätning har borrhålen inspekterats med videoutrustning.

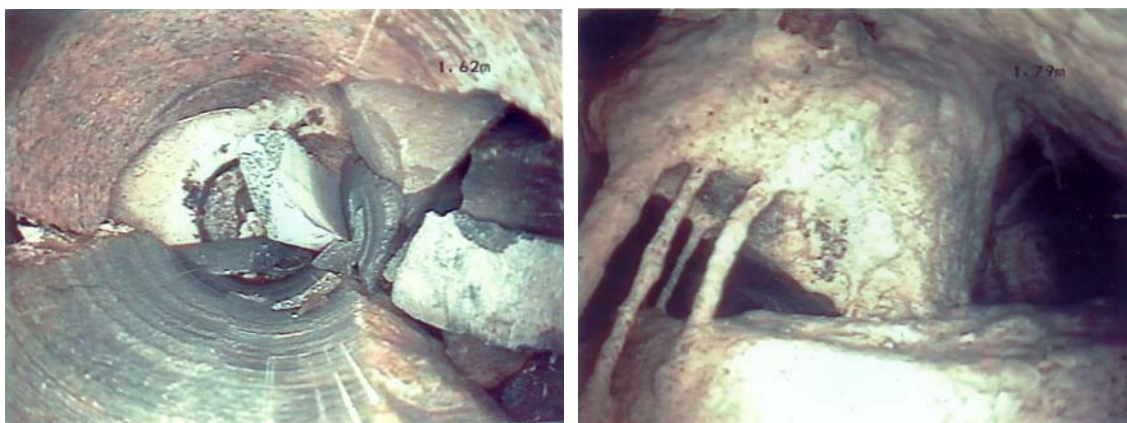
Kärnborrhålen placerades enligt [figur 11](#).



Figur 11. Planskiss, placering av kärnborrhål.

5.2.1 Borrhål nr 1

Undersökningen visar att grundmuren består av murverk i bruk ner till ca 0,7 m under golvnivån (nivå ca +1,1 m), vilket väl överensstämmer med iakttagelserna i provgrop nr 3, se skiss i [bilaga 4](#). Under den nivå påträffades lösa stenar i varierande storlekar med större och mindre hålrum emellan, se [figur 12](#). Hållrummen var så pass stora att en 3 dm lång borkärna med diameter 50 mm kunde falla ner och försvinna i dem. De lösa stenar försvårade kärnborrningen och ett antal stenar fick borraras upp med klenare dimensioner för att möjliggöra fortsatt kärnborrning. Att stenarna inte sitter fast beror med största sannolikhet på sättningar i grundmurarna och dess undergrund.

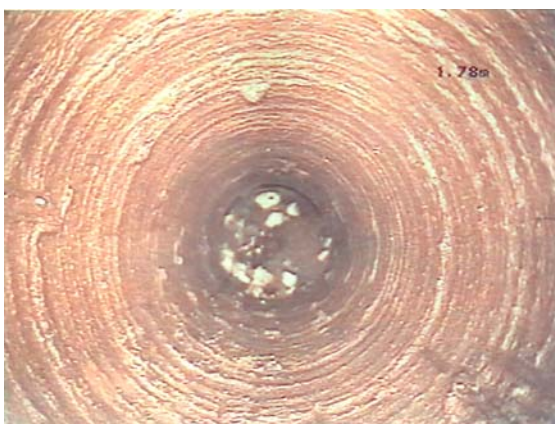


Figur 12. Fotografier från filmningen av kärnborrhål 1. Till vänster lösa stenar och till höger hållrum.

5.2.2 Borrhål nr 2

Undersökningen visar att grundmuren består av murverk i bruk ner till ca 1,0 m under golvnivån (nivå ca +0,8 m), se skiss i [bilaga 5](#). Grundmuren är grundlagd på lera (sandig lera), se [figur 13](#), vilket får anses vara en svag

undergrund. Sedan Norrbro byggdes har landhöjningen medfört en sänkning av grundvattennivån med ca 1 m, vilket sannolikt bidragit till sättningarna.



Figur 13. Fotografier från filmningen av kärnborrhål 2. Lera under grundmuren.

5.2.3 Borrhål nr 3

Undersökningen visar att grundmuren består av murverk i bruk ner till ca 0,4 m under golvnivån (nivå ca +1,4 m), se skiss i bilaga 6. Grundmuren bedöms vara grundlagd på lerig sand, se figur 14.



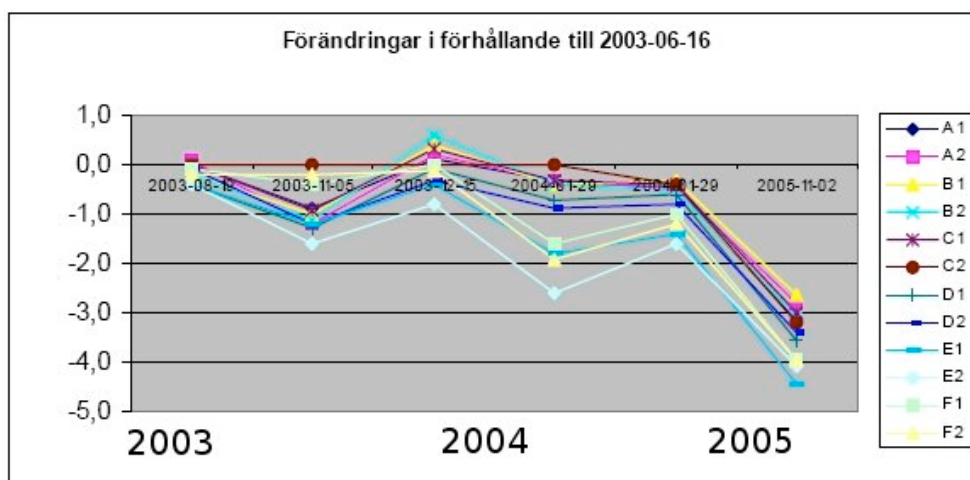
Figur 14. Fotografier från kärnborrhål 3. Murverk med stenar och fogbruk.

5.3 Inspektioner och kontrollavvägningar

Norrbro har inspekterats dels inom ramen för de systematiska broinspektionerna, dels inför denna och tidigare utredningar.

Regelbundna sättningkontroller har utförts på Södra Norrbro och Norra Norrbro sedan år 1977 och på Norrbros del över Helgeandsholmen sedan år 2003.

Den senaste sättningsskontrollen visar att konstruktionen satt sig mellan 3-7 mm på 2 år och att sättningarna accelererar, se [figur 16](#).



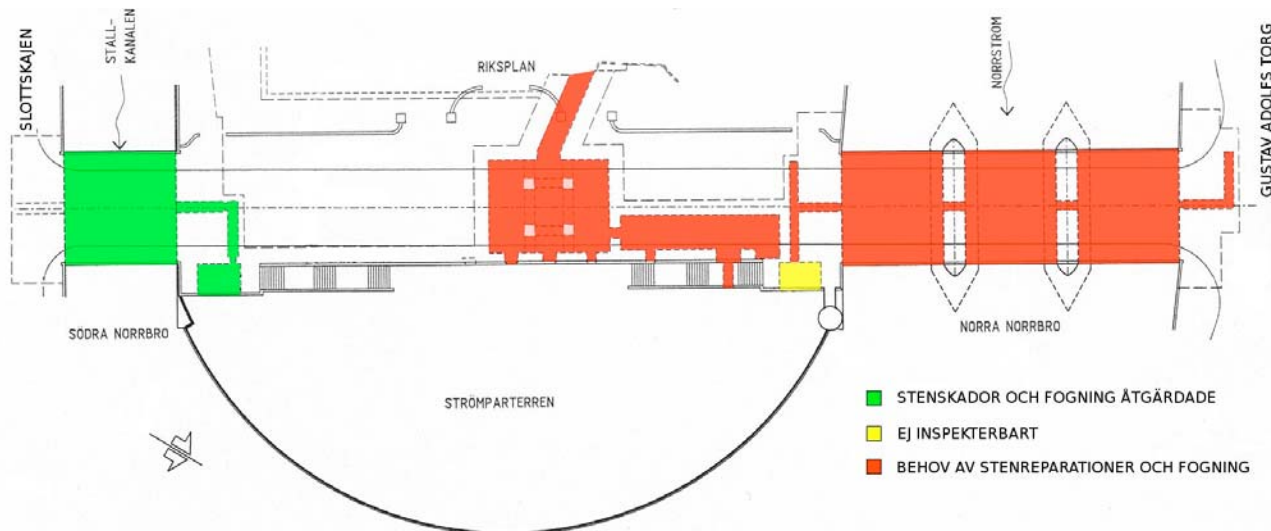
Figur 16. Sättningarna på Norrbros del över Helgeandsholmen sedan år 2003.

6.1.3 Sättningsskador på Norra Norrbro

Vare sig de regelbundna sättningsskontrollerna eller inspektionerna visar några tecken på sättningar.

6.2 Skador i stenvälven

Stenskadorna i stenvälven har främst förorsakats av ojämna sättningar och av inläckande vatten som medfört urlakning och frysskador. Behovet av stenreparationer och fogning i valven redovisas översiktligt i [figur 17](#).



Figur 17. Översikt: behovet av stenreparationer och fogning i valven.

6.2.1 Skador i stenvälven på Södra Norrbro

De tidigare skadorna i Södra Norrbros brovalv åtgärdades vid entreprenaden år 2000.

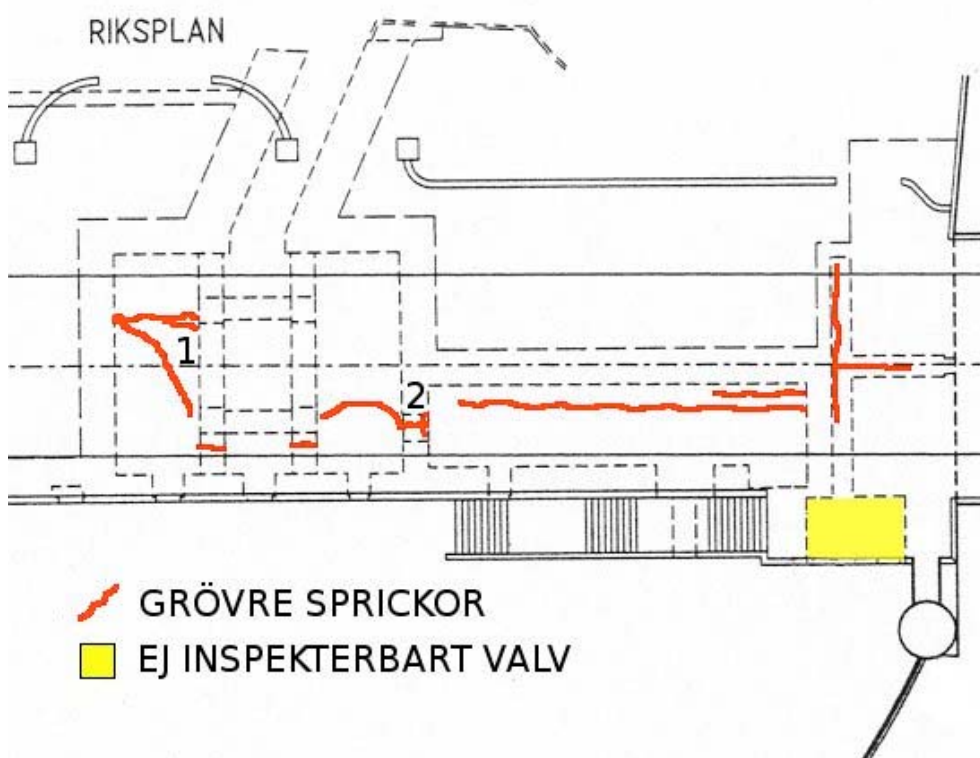
6.2.2 Skador i stenvälv på Norrbros del över Helgeandsholmen

6.2.2.1 Södra valvet, håvfiskarnas valv

Skadorna i håvfiskarnas valv och gången innanför åtgärdades vid entreprenaden år 2005.

6.2.2.2 Det mellersta valvsystemet

Det mellersta valvsystemet består i söder av en kvadratisk del med tre skepp i vilken Medeltidsmuseet har sina lokaler och i norr av ett långsträckt valv som delas med Café Strömparterren. Ett antal sprickor som stadigt har förvärrats mellan inspektionerna förekommer i de olika valven, se [figur 18](#).



Figur 18. Sprickor i det mellersta valvsystemet och i det norra valvet.

Stenar som spricker och lossnar medför risk för personskada. De lagningar som tidigare utförts i samband med att taken kontrollerats med avseende på lösa stenar har spruckit upp och nya lösa stendelar har uppstått. Takhöjden är upp till 4 meter.

De sprickor som medför störst risk är sprickorna i entréhallen (punkt 1 i figuren) och sprickorna i passagen mellan södra och norra delen (punkt 2).

I entréhallen vistas dagligen museibesökare, anställda och ett stort antal skolbarn.

Vid senaste inspektionen av sprickan vid passagen mellan södra och norra delen noterades att delar av stenarna lossnade vid beröring. De hade spjälkats loss på grund av höga lokala tryck orsakade av sättningsrörelserna.

De pågående relativa rörelserna har under senare tid även orsakat sprickbildning längs med valvet ca 1 dm ifrån valvets kant. En av de

stenarna, i vilken mätadubbar fästs, visade sig vid senaste inspektionen vara lös.

6.2.2.3 Norra valvet

Det norra valvet är inte möjligt att inspektera då det har försetts med ett fast innertak för att skydda den elektriska utrustningen i Fortum Distributions nätstation mot inläckande vatten.

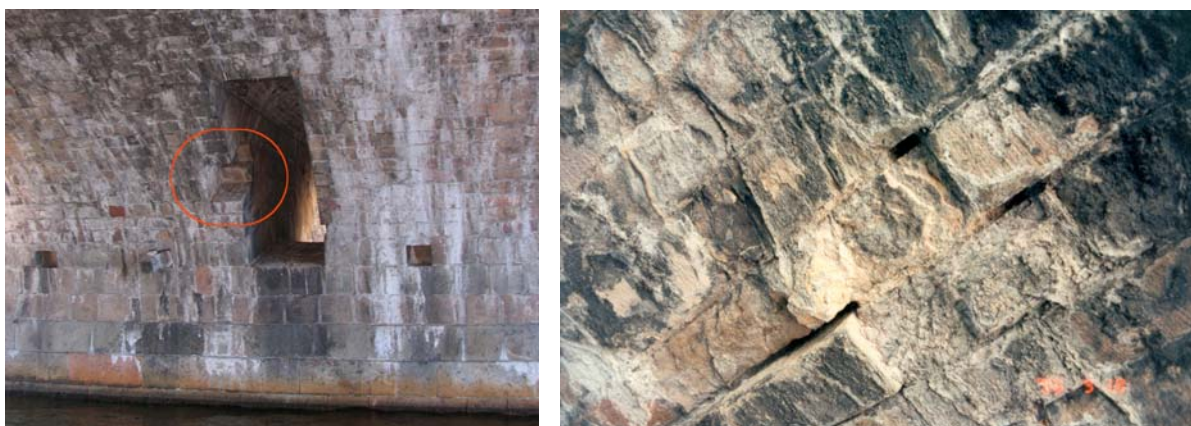
Gången innanför det norra valvet är skadad av ojämna sättningar. Bland annat har en lång spricka uppstått längs med gången (i generatrisriktningen) ovanför dess södra vägg. Sprickvidden är ca 15 mm och den relativa förskjutningen i vertikalled är ca 35 mm.

6.2.3 Skador i stenvalven på Norra Norrbro

Skadorna i stenvalven på Norra Norrbro omfattar skadade stenar och stenbortfall med djup upp till ca 1 dm, vilket förekommer allmänt.

I södra valvet har tre stenar fallit bort, se [figur 19](#). Fogbruk saknas lokalt till 6 dm djup mellan stenar.

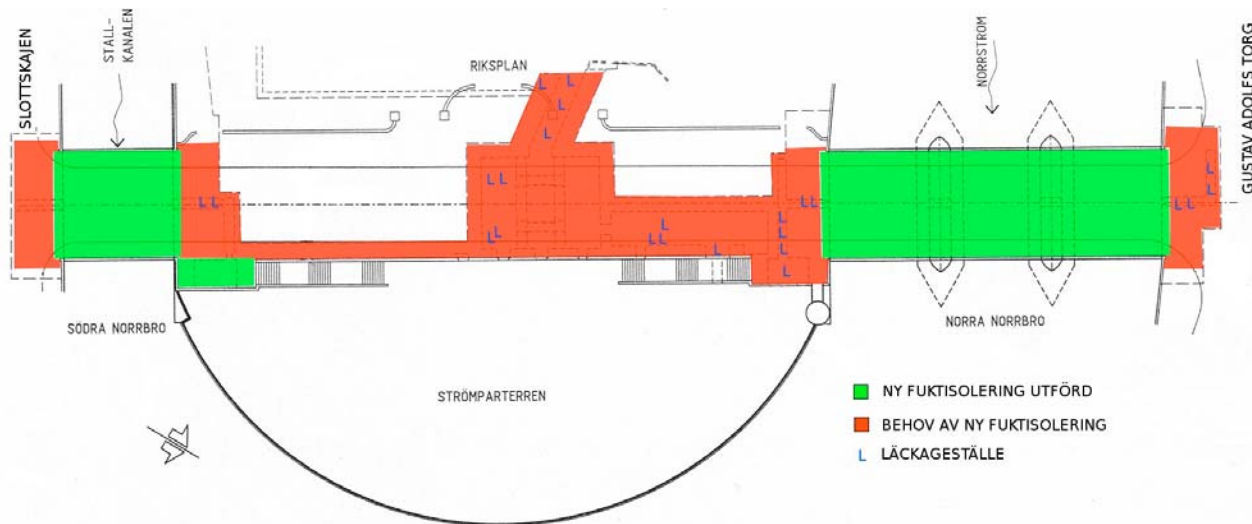
Tillståndsklassen för skadorna motsvarar tk 2 dvs de bör åtgärdas inom 6 år.



Figur 19. Norra Norrbro. Till vänster: stenar som saknas, till höger stenskadorna i valvet.

6.3 Inläckage av vatten

Den ursprungliga fuktisoleringen av kalkfyllning och puddlad lera har sedan länge förlorat sin skyddande funktion. På de delar av Norrbro som inte försetts med ny fuktisolering läcker vatten in i samtliga valv. På några läckageställen har stalaktiter utvecklats, se [figur 20](#).



Figur 20. Översikt: behovet av fuktisolering samt förekomsten av inläckage.

6.3.1 Inläckage av vatten på Södra Norrbro

De tidigare problemen med inläckande vatten åtgärdades i entreprenaden år 1981-82.

6.3.2 Inläckage av vatten på Norrbros del över Helgeandsholmen

På grund av kraftigt inläckage i Medeltidsmuseets lokaler utfördes en fuktisolering på en ca 560 m² stor yta, år 1982-83 med 10 mm gjutasfalt på 70 mm betong. Till skillnad mot fuktisoleringen på Norra och Södra Norrbro lades denna ovanför befintliga ledningar. Av ett yttrande, daterat 1982-02-19, från Jacobson & Widmark, vilka konstruerade fuktisoleringen, framgår att de fått i uppdrag av Byggnadsstyrelsen att ta fram "ett förenklat utförande av tätskikt" och att de varnade för risken för läckage. Då ledningarna är kringfyllda med genomsläppligt material ledde den ytliga placeringen till att fuktisoleringen inte fick avsedd funktion. Inläckaget har fortsatt, vilket föranlett injektering med epoxi 1988-89 varvid läckaget har reducerats något.

En bidragande orsak till fukt- och läckageproblemen är att dagvattenbrunnar saknas på hela Norrbro.

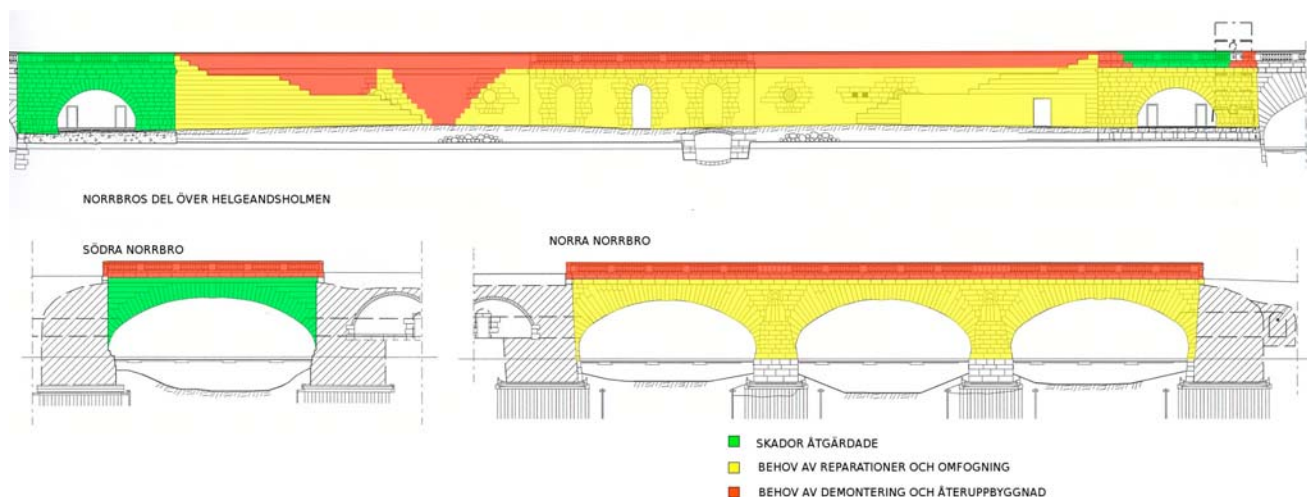
Idag läcker vatten in i Medeltidsmuseet huvudsakligen på 6 ställen varav flera ligger inom den tidigare isolerade ytan. Vid kraftiga regn, vid snösmältning och då flaggstängerna i gångbanan ovanför har monterats i sina fästen utan gummimuffar blir inläckaget kraftigt. Flödet uppgår då till ca 1 hink (10 liter) per dag och läckageställe.

6.3.3 Inläckage av vatten på Norra Norrbro

De tidigare problemen med inläckande vatten åtgärdades i entreprenaden år 1981-82.

6.4 Skador på fasader

Behovet av reparationer på fasader och balustrader redovisas översiktligt i figur 21.



Figur 21. Översikt: behovet av fasadreparationer.

Skadorna på fasaderna och balustraderna omfattar främst stenar som spruckit på grund av rostsprängning. Rostsprängning är den volymökning som uppstår när inborrade dubbar och kramlor av järn korroderar, se figur 22. Det förekommer även stenar som skadats på grund av ojämna sättningar.

Avsaknaden av fungerande fuktisolering och bristfällig fogning har ökat antalet stenar som skadats av rostsprängning genom att öka tillträdet av vatten och syre.

Vid inspektionerna och reparationsarbetena på balustraderna har noterats att det tredje stenskitet räknat ovanifrån har mycket hög skadefrekvens. Lokalt har samtliga stenar varit allvarligt skadade.

Balustradernas gjutjärnsdockor är mestadels rotskadade och i några fall även spruckna.

Underhållet av fasadernas och balustradernas fogning är eftersatt i varierande grad. Ursprungligt kalkbruk av har senare ersatts med cementbruk vilket med sin sämre plasticitet varit mindre lämpat.

6.4.1 Skador på fasader på Södra Norrbro

De tidigare skadorna på Södra Norrbros fasader reparerades år 2000.

Balustraden är i behov av reparation.

6.4.2 Skador på fasader på Norrbros del över Helgeandsholmen

På fasaden mot Strömparterren är ett trettiotal fasadstenar skadade av rostsprängning, se figur 22.



Figur 22. Till vänster: exempel på rostsprängning, till höger: skadade stenar över entrén till Medeltidsmuseet

På två delområden buktar fasaden ut vilket enligt erfarenheterna från reparationerna år 2005 tyder på att fasadstenarna har släppt från murkroppen på grund av nedbrutet murbruk och spräckta stenar, se [figur 23](#).



Figur 23. Utbuktande del där fasadstenarna förlorat kontakten med murkroppen.

Balustraden har skador på stenar framför allt i tredje och fjärde stenskiftet. Nivån på balustradens överyta är ojämn.

Fogbruket är skadat och nedbrutet. Stenar som ligger an direkt mot varandra förekommer allmänt.

6.4.3 Skador på fasader på Norra Norrbro

I fasadytorna finns ett antal sprickor, krosskador och hål efter stendelar som fallit ut. Särskilt märks fyra skadade stenar över södra valvet på västra sidan och den skadade vattenkaskaden på södra pelarens västra sida, se [figur 4](#), samt sju skadade stenar över södra valvet på östra sidan. Uppskattningsvis är ett 40-tal fasadstenar skadade av vilka de flesta är valvstenar.

För att kompensera för sättningar hos Norra Norrbros södra pelare har balustradens krön lokalt höjts ca 1 dm genom omsättning med upp till 45 mm tjocka fogar. Efter höjningen har brostödet satt sig ytterligare och balustraden ”svankar” idag ca 12 cm. Sättningen har skett före

grundförstärkningen 1981. Inspektionerna och sättningskontrollerna visar inte på några pågående sättningar.

Fogbruket är skadat och nedbrutet. Krosskador har uppkommit där stenar ligger an direkt mot varandra utan fogbruk, på grund av att kontakttrycken blivit för höga.

7 Förslag till åtgärder

7.1 Grundförstärkning

De ojämna sättningarna orsakar sprickor i valven, vilket leder till ett ökat inläckage av vatten och därmed en accelererande skadeutveckling. En grundförstärkning gagnar således konstruktionens fortlevnad på flera sätt.

Med tanke på den fortgående skadeutvecklingen bör grundförstärkningen prioriteras och utföras inom kort. Därigenom kan risken för personskada och risken att konstruktionen försätts i ett oreparabelt skick elimineras.

Grundförstärkningen föreslås utföras med borrarade och injekterade stålplåtar, så kallade micropålar, som borraras ner till 15 meters djup. Tack vare att pålarna kan skarvas med gängad hylsa är det möjligt att utföra pålningen även vid begränsad takhöjd.

Pålarna är av typen friktionspålar, det vill säga de bär upp lasten via friktion mot pålarnas mantelyta. Därigenom får grundförstärkningen samma verkningssätt som Södra Norrbro och Norra Norrbro, med vilka den är sammanbyggd. Djupet till berg varierar mellan 28 till 35 m.

Tekniken är lämplig då den ger jämförelsevis små störningar och då den kan utföras med utrustning som får plats under stenvälvorna.

Det är nödvändigt att utföra pålningen både på välvans insida och utsida. Ett utförande med pålar endast på välvans insida skulle medföra en förändrad trycklinje och sannolikt leda till att välvorna skadas.

Påltopparna avslutas under grundvälvorna. De gjuts in och förbinds med välvans grundvälvor med en längsgående betongbalk som på insidan är belägen under golvet och på utsidan är belägen på motsvarande nivå. Balkarna på ömse sidor om välvans grundvälvor förbinds med stag som borraras med foderrör direkt under grundvälvorna.

För att få så gynnsam lastöverföring som möjligt utförs lokal schakt in ca 0,4 m under grundvälvorna vid pålarna. Därigenom kan en tryckt konstruktionslösning fås, som inte är beroende av grundvälvornas eventuellt dåliga sammanhållning. Schakten under nivån för grundvälvornas underkant bedrivs i korta etapper med hänsyn till risken för underminering.

Arbetsordningen är enligt följande, se även skisser i bilaga 7.

1. Utrymning av berörda utrymmen och demontering av mellanväggar och installationer.
2. Framschaktning av underkant välv. Stora delar av gång- och körbanorna över Helgeandsholmen berörs.
3. Borrning av skarvbara stålrospålar typ micropålar. Utförs med centrumavstånd 1 eller 2 meter.

4. Borrning av stag under muren.
5. Lokal schakt in under valvet, max 0,4 m.
6. Betonggjutning under valvfoten
7. På utsidan: fuktisolering av valven, enligt kap 7.2 nedan.
På insidan: återfyllning, återställning av installationer, golv och mellanväggar.

Grundförstärkningen av stödmuren längs södra och norra trappan och stödmurarna som bär upp dem utförs på liknande sätt men med vissa anpassningar: trappstegen behöver demonteras, påltopparna avslutas ca 1 m under trappstegen och murverket på bägge sidor om pållinjen hängs upp med inborrade syrafasta stänger som förankras i den längsgående balk som pålarna gjuts in i.

7.2 Fuktisolering

Valven och stödmurarna på Norrbros del över Helgeandsholmen bör förses med fuktisolering samtidigt med grundförstärkningen. Den ursprungliga tvåhundra år gamla fuktisoleringen har sedan länge förlorat sin skyddande funktion och fuktisoleringen som utfördes år 1982-83 över en del av Medeltidsmuseets lokaler fick inte avsedd funktion.

Behovet av fuktisolering är inte lika akut som behovet av grundförstärkning, men skulle, om den utförs i ett senare skede, orsaka lika omfattande störningar som grundförstärkningen. Genom att utföra fuktisoleringen samtidigt med grundförstärkningen kan de sammanlagda störningarna minimeras och schakt, ledningsomläggningar, nya gång- och körbanor behöver inte utföras ytterligare en gång, varvid en betydande kostnadsbesparing kan göras.

Fuktisoleringen placeras på valvens överyta under de befintliga ledningarna, som temporärt flyttas. Valvens överyta jämnas av med bruk och vid större ojämnheter som murning med stenar i bruk.

Då inläckage även sker vid anslutningen mellan den gamla gången från Medeltidsmuseets entréhall och den relativt nybyggda utställningslokalen i betong under Riksplan föreslås att isoleringen ansluts till betongkonstruktionens fuktisolering. Då valven schaktas fram för grundförstärkningen föreslås att även valvens sidor fuktisoleras.

Fuktisoleringen förses ovanpå valven med ett skyddslager av fiberarmerad betong. På valvens sidor skyddas fuktisoleringen av ett lager sprutbetong.

Förslag till uppbyggnad av fuktisolering redovisas på skiss 3 och 4 i bilaga 7.

Fuktisoleringen utförs efter grundförstärkningen och arbetsordningen är i korthet följande.

8. Avjämning av valvens överyta med cementbruk.
9. Fuktisolering: svetsad gummimatta alternativt svetsad bitumenmatta, som upptill avslutas mot balustradens murverk under mark och nedtill ansluts mot betongbalken över pålarna.

10. Skyddslager: fiberarmerad betong på de horisontella ytorna och sprutbetong på de lutande och vertikala ytorna.
11. Återläggning av de befintliga ledningarna.
12. Återfyllning.
13. Återställning av körbanor, gångbanor, balustrader etc.

Som en del i den föreslagna entreprenaden bör dagvattenbrunnar anordnas på Norrbros del över Helgeandsholmen så att dagvattnet kan omhändertagas kontrollerat. Avlopp för dagvatten anordnas med gemensamma brunnar och ledningar som ansluts till avsättningsmagasin före utlopp i Norrström alternativt pumpning till befintligt avloppssystem.

Även den södra och norra trappan bör fuktisolerar. Trappstegen demonteras inför grundförstärkningen, murytan under trappstegen muras om i erforderlig omfattning och förses med fuktisolering och skyddslager enligt ovan, skadade trappsteg byts ut och stegen återsätts.

Det rekommenderas att man även utför fuktisolering över de delar av Södra Norrbro och Norra Norrbro som undantogs vid entreprenaden år 1981-82: Södra Norrbros södra landfäste på Slottskajen och Norra Norrbros norra landfäste på Gustav Adolfs torg. Ytorna omfattar ca 200 m² vardera.

7.3 Reparationer på Norrbros del över Helgeandsholmen

Efter genomförd grundförstärkning och fuktisolering bör reparation av stenvälv och murverk utföras på Norrbros del över Helgeandsholmen.

Stenar som endast är delvis skadade kan i vissa fall åtgärdas genom utbyte av del av sten, så kallad ilusning, som omfattar följande arbetsmoment.

- Den skadade delen av stenen skärs upp i skivor med stenkapskiva.
- Stenskvivorna pikhamras ner till ett djup av ca 300 mm. Eventuellt åtkomliga förankringar ersätts med nya av syrafast stål.
- Ny stendel passas in i hålet och dubbas fast med syrafast gängstång, utrymmet mellan sten och hålbotten fylls i förväg med bruk.

7.3.1 Valven på Norrbros del över Helgeandsholmen

Skadorna i stenvälv på Norrbros del över Helgeandsholmen åtgärdas enligt följande.

- Skadade stenar: genom utbyte eller ilusning.
- Lösa stenar: säkras med syrafasta dubbar eller losstagning och återmurning.
- Fogar där stenarna ligger an mot varandra: fogarna skärs upp och fogas om.
- Skadad fogning: rensning och omfogning.

7.3.2 Fasaderna på Norrbros del över Helgeandsholmen

Fullständig demontering och återuppmurning krävs på 2 delområden av fasaden där den buktar ut på grund av dålig sammanhållning.

Arbetsordningen är i korthet:

- Uppmärkning av fasadstenarna.
- Demontering.
- Rensning av stenar från järndubbar och järnkramlor.
- Utbyte av skadade stenar
- Återuppmurning av de demonterade fasaddelarna. Fasadstenarna förankras med syrafasta stänger in i murkroppen.
- Fogning.

På övriga fasadytor utförs reparationer av enskilda skadade stenar med följande omfattning.

- Skadade stenar åtgärdas genom utbyte eller ilusning.
- Rensning av fogar från växtlighet och rester av tidigare fogbruk.
- Fogar där stenarna ligger an mot varandra: fogarna skärs upp och fogas om.
- Skadad fogning: rensning och omfogning.

7.3.3 Balustraderna på Norrbros del över Helgeandsholmen

Demontering och återmontering utförs av skadade delar av balustraderna samt de delar som är belägna ovanför de delar av fasaden som behöver demonteras. Arbetsordningen är i korthet:

- Demontering av de fyra översta stenskiten.
- Utbyte av skadade stenar. Stenar som återanvänds rensas från inborrade rostande dubbar och kramlor.
- Reparation av skadade balusterdockor.
- Återmontering av balustraderna.
- Fogning.

7.4 Reparationer på Södra och Norra Norrbro

Reparation av valv, fasader och balustrader på Norra Norrbro rekommenderas att utföras inom en 6 års period.

7.4.1 Brovalven på Norra Norrbro

Reparation av skadorna i Norra Norrbros brovalv omfattar följande arbetsmoment.

- Skadade stenar åtgärdas genom ilusning.
- Lösa stenar säkras med syrafasta dubbar.
- Saknade stenar ersätts av nya som säkras med syrafasta dubbar.

- Blästring av valvytorna, vilka är belagda med kalkutfällningar. Därigenom blir det möjligt att avgöra om det förekommer något vattenläckage genom valvet.
- Omfogning.

7.4.2 Brofasaderna på Norra Norrbro

Reparation av Norra Norrbros brofasader föreslås omfattar följande arbetsmoment.

- Skadade stenar i fasaden repareras genom ilusning eller utbyte.
- Fogar där stenarna ligger an mot varandra skärs upp.
- Omfogning.

7.4.3 Balustraderna på Södra Norrbro och Norra Norrbro

Demontering och återmontering rekommenderas för Södra Norrbros och Norra Norrbros balustrader. Arbetsordningen är i korthet:

- Demontering av de fyra översta stenskiten.
- Utbyte av skadade stenar. Stenar som återanvänds rensas från inborrade rostande dubbar och kramlor.
- Reparation av skadade balusterdockor.
- Återmontering av balustraderna.
- Fogning.

8 Omgivningspåverkan av grundförstärkning och fuktisolering

Byggtiden uppskattas till ungefär 1 år vardera för grundförstärkning respektive fuktisolering.

Genom att utföra grundförstärkningen och anordnandet av fuktisolering i samma entreprenad kan den totala tiden kortas till drygt 1 år, och därmed minimeras den sammanlagda störningen.

8.1 Trafiken

Arbetena med grundförstärkningen och fuktisoleringen medför att stora delar av gång- och körbanorna över Helgeandsholmen schaktas upp, se skiss i bilaga 8.

Det bedöms av kostnadsskäl vara nödvändigt att leda bort den allmänna trafiken.

En tillfällig körväg för transporter till Riksdagshusets garage och varuintag kan ordnas med hjälp av temporära körbryggor över schakterna via Södra Norrbro.

8.2 Medeltidsmuseet och Café Strömparterren

Medeltidsmuseet och Café Strömparterren tvingas under byggtiden att tillfälligt utrymma sina lokaler under Norrbro. Befintliga installationer, golv och mellanväggar kommer att rivas inför arbetena för att efteråt återuppbyggas.

Samråd bör hållas med Medeltidsmuseet och Café Strömparterren angående de föreslagna arbetenas påverkan på deras verksamhet.

8.3 Fortum Distributions nätstation

Det är av flera skäl inte möjligt att inhysa en nätstation för elnätet under Norrbro. Bland annat på grund av att det omöjliggör inspektion och underhåll av brokonstruktionen, men även av hänsyn till Norrbros stora teknik- och kulturhistoriska värde och tillgängligheten till densamma.

Förhandlingar har redan inletts med Fortum Distribution angående möjligheterna att flytta ut nätstationen från det norra valvet på Helgeandsholmen.

9 Samråd

9.1 Stockholms stadsmuseum

Samråd bör hållas med byggnadsantikvarisk sakkunskap på Stockholms Stadsmuseum angående de föreslagna reparationsmetoderna. Vid tidigare entreprenader har samråd hållits med Lars Bengtsson på Stockholms Stadsmuseum och de erfarenheterna har legat till grund för till denna förstudie.

9.2 Gatumiljön

När kör- och gångbanorna efter genomförd entreprenad skall återskapas finns möjligheten att förbättra gaturummet.

Den nuvarande utformningen tillkom år 1928 då de ursprungliga breda trottoarerna, vilka var Stockholms första, minskades för att ge plats för fyra körfält vilket den dåtida trafiken krävde. Norrbro utgjorde då tillsammans med Vasabron de enda fasta förbindelserna över Mälaren. I dag har Norrbro ett lägre trafikflöde vilket gör det möjligt att återskapa det ursprungliga gaturummet.

Samordning rekommenderas med den planerade förnyelsen av Gustav Adolfs torg.

10 Förslag till översiktlig tidplan

År 2006

- Inmätning av de befintliga konstruktionerna.
- Kompletterande geotekniska undersökningar.
- Undersökning av murarnas mäktighet utförs genom horisontella kärnborrningar.

- Grundförstärkning och fuktisolering projekteras och förfrågningsunderlag utarbetas.

År 2007

- Grundförstärkning och fuktisolering utförs.
- Reparation av stenvälven under Norrbros del över Helgeandsholmen.
- Lokalerna för Medeltidsmuseet och Café Strömparterren återställs.

År 2008

- Återinflyttning av Medeltidsmuseet och Café Strömparterren.
- Reparation av fasaderna och balustraderna på Norrbros del över Helgeandsholmen

År 2009

- Reparation av Norra Norrbros brovalv, fasader och balustrader samt Södra Norrbros balustrader.

11 Kostnadsuppskattning

Kostnaderna för arbetena på Norrbros del över Helgeandsholmen har uppskattats enligt nedan.

A. Grundförstärkning	50.000.000
B. Fuktisolering	15.000.000
C. Fasadreparationer	<u>10.000.000</u>
Summa	75.000.000
=	
Entreprenörens etablering	2.000.000
Entreprenörens allmänna omkostnader (15%) administration, arbetsledning	8.000.000
Summa byggnadsarbeten =	85.000.000
Diverse och oförutsett (ca 15%)	10.000.000
Summa entreprenadkostnad	95.000.000
Projekteringskostnad	5.000.000
TOTALT CA	<u>100 Mkr</u>

Arbetena med Norrbros del över Helgeandsholmen planeras att utföras under 3 år med följande kostnadsfördelning.

År	Projektering	Entreprenad
2006:	ca 3 Mkr	
2007:	ca 1,5 Mkr	ca 82 Mkr
2008:	ca 0,5 Mkr	ca 13 Mkr

11.1 Merkostnad pga hänsyn till kulturhistoriska värden

Hänsynen till Norrbros kulturhistoriska värde medför att betydligt kostsammare åtgärder behöver vidtas jämfört med de åtgärder som annars erfordras. Merkostnaden har uppskattats genom en jämförelse med kostnaderna för rivning och uppbyggnad av en ny konstruktion.

En grov kostnadsuppskattning visar att merkostnaden är ca 50%.

12 Konsekvensbeskrivning och riskbedömning

Syftet med de föreslagna åtgärderna är dels att vidmakthålla konstruktionen så att den inte sätts i ett oreparabelt tillstånd, dels att eliminera risken för personskada.

12.1 Utebliven grundförstärkning av Norrbros del över Helgeandsholmen

Den undermåliga grundläggningen och de pågående sättningarna medför att risken för fortsatta sättningsskador är överhängande.

Konsekvenserna, om grundförstärkningen ej utförs, är att de fortsatta sättningarna leder till förvärrad sprickbildning i valven över Medeltidsmuseets lokaler och en ökad risk för personskada orsakad av nedfallande stenbitar.

Alternativet att sätta upp skyddsanordningar i valvtaken är inte genomförbart på grund av utrymmesskäl. Den fria höjden under det lägsta valvet är endast 2 meter. Nödvändiga inspektions- och underhållsinsatser skulle dessutom förhindras av skyddsanordningarna.

Risken att vibrationer från trafiken förvärrar skadeutvecklingen skulle kunna minskas genom en sänkning av maximalt tillåten trafiklast (idag max 8 ton axeltryck). Det är dock osäkert om det är praktiskt möjligt med hänsyn till behovet av transporter till Riksdagens varuintag och garage.

Alternativet att minska trafiklasten genom att helt stänga av Norrbro för trafik bedöms av samma skäl inte vara genomförbart.

Att schakta bort massorna på valven för att därigenom minska belastningen av egenvikten bedöms ej heller vara praktiskt genomförbart.

De riskzoner som identifierats är dels entréhallen där både museibesökare, anställda och ett stort antal skolbarn dagligen vistas, dels valven i museets kontor.

Om grundförstärkningen skjuts på framtiden riskeras även att mur- och valvkonstruktionen inte längre kan repareras utan måste rivas och byggas upp på nytt.

12.2 Utebliven fuktisolering

Konsekvenserna av att inte utföra en fuktisolering av valven på Helgeandsholmsdelen är, förutom störningen av Medeltidsmuseets verksamhet, fortsatta frostsador och urlakning valvens fogbruk vilket leder

till fortsatt nedbrytning av murverken. Slutligen riskeras murverkets sammanhållning.

I ett yttrande från Norrbrokommissionen år 1930 konstateras att den befintliga fuktisoleringen behöver bytas ut men ”att några nämnvärda olägenheter icke behöva befaras inom de närmaste 10 á 15 åren”.

12.3 Uteblivna fasadreparationer

Konsekvenserna av att inte utföra reparationer av stenfasaderna är fortsatt och successivt allvarigare nedbrytning av fasadens sammanhållning och slutligen risk för dess stabilitet. Av säkerhetsskäl kan avstängning av de närmaste delarna ovanför och nedanför stödmuren bli aktuell.

Solna 2005-10-16

KFS AnläggningsKonstruktörer AB

Håkan Sidh

Granskad av:

Jenny Wäppling