

CALAMITEIT STUW LITH
januari 2007
ONDERZOEK MATERIAALBREUKEN

Slotnotitie onderzoeksproject

Utrecht, 17 augustus 2007

CALAMITEIT STUW LITH januari 2007 ONDERZOEK MATERIAALBREUKEN

Slotnotitie onderzoeksproject

Utrecht, 17 augustus 2007

| | |
|----------------|--|
| Document: | CSL-R-07016 |
| Datum: | 17 augustus 2007 |
| Status: | definitief |
| Opdrachtgever: | Rijkswaterstaat Limburg i.s.m. District Nijmegen-Maas |
| Opsteller: | Rijkswaterstat Bouwdienst afdeling SWI |

INHOUDSOPGAVE

| | | |
|------|--|----|
| 1. | Projectidentificatie | 4 |
| 2. | Inhoud en karakter van het project | 5 |
| 2.1 | Probleemstelling | 5 |
| 2.2 | Bereikt projectresultaat | 6 |
| 2.3 | Onderwerp en scope van dit document | 7 |
| 3. | Uitgangspunten van het onderzoek | 8 |
| 3.1 | Constructie en materialen stuwschouwen | 8 |
| 3.2 | Omstandigheden calamiteit van januari 2007 | 10 |
| 3.3 | Vraagstelling van het onderzoek | 12 |
| 3.4 | Scope en methode van het onderzoek | 13 |
| 4. | Onderzoeksresultaten | 14 |
| 4.1. | Visueel en macroscopisch onderzoek | 14 |
| 4.2. | Microscopisch onderzoek en chemische analyse | 16 |
| 4.3. | Mechanische proeven | 18 |
| 5. | Directe conclusies en aanbevelingen | 20 |
| 5.1. | Karakter materiaalbreuken | 20 |
| 5.2. | Materiaalkwaliteiten, conditie onderdelen | 21 |
| 5.3. | Directe aanleiding tot materiaalbreuken | 23 |
| 5.4. | Kans op herhaling, factoren van betekenis | 24 |
| 5.5. | Aanbevelingen op lokaal niveau | 26 |
| 6. | Gevolgtrekking in ruimer verband | 28 |
| 6.1. | Hoofdoorzaak en medeoorzaken calamiteit | 28 |
| 6.2. | Belang van gevolgtrekking in ruimer verband | 31 |
| 6.3. | Gevolgtrekking voor Stuw Lith en andere objecten | 32 |
| 7. | Eindadvies | 34 |
| 8. | Evaluatie van het onderzoek | 35 |

Bijlage: Rapport TNO Industrie en Techniek "Calamiteit Stuw Lith - materiaalonderzoek", doc. TNO-033-EH-2007-02283/rie (Bouwdienst documentnummer CSL-R-07017), Eindhoven, 12 juli 2007.

.....

1 PROJECTIDENTIFICATIE

| | |
|-------------------------|---|
| Projectnaam: | Calamiteit Stuw Lith – Onderzoek materiaalbreuken |
| Projectcode: | geen; |
| Startdatum: | 1 maart 2007; |
| Einddatum: | 31 augustus 2007; |
| Opdrachtgevende dienst: | Rijkswaterstaat Limburg i.s.m. District Nijmegen-Maas projectleider: ing. H. Michon, hoofd district: ing. J.H.M. Goosens; |
| Opdrachtnemende dienst: | Rijkswaterstaat Bouwdienst, Staal-, Werktuigbouw en Installatietechniek projectleider: dr. ir. R.A. Daniël, afdelingshoofd: ir. B.P. Nieswaag; |
| Projectresultaat: | Rapport van het onderzoek naar het karakter en de oorzaak van materiaalbreuken op Stuw Lith |

De activiteiten van dit project hebben plaatsgevonden op basis van het verzoek van Herbert Michon van Rijkswaterstaat Limburg, e-mail van 2 febr. 2007, binnen bestaande accountafspraken (raamovereenkomst) tussen Rijkswaterstaat Limburg en Bouwdienst.

2 INHOUD EN KARAKTER VAN HET PROJECT

2.1 Probleemstelling

Op vrijdag 26 januari en zaterdag 27 januari 2007 heeft de zuidelijke schuif van Stuw Lith een aanzienlijke schade opgelopen. De schade bestond uit diverse materiaalbreuken en vervormingen van vooral de onderdelen van de bovenklep van de zuidelijke schuif, de bevestigingen en de aandrijving ervan. De waterkerende functie van de schuif werd hersteld op dinsdag 30 januari 2007 door de bovenklep in een vaste positie te fixeren. De regeling van de waterstroming over de stuw vindt sindsdien plaats met behulp van de bovenkleppen van de midden- en de noordelijke schuif.

Naar aanleiding van deze gebeurtenis en ter voorbereiding van de benodigde reparatie van de zuidelijke schuif zijn vragen ontstaan over de conditie en materiaalkwaliteiten van de gebroken delen. In de meest algemene zin ging het om de antwoorden op de volgende vragen:

- Wat was de directe oorzaak van de materiaalbreuken van de diverse constructiedelen?
- Is de algemene technische conditie van deze inmiddels ruim 70 jaar oude constructiedelen nog steeds voldoende?
- Bieden de materiaalkwaliteiten zoals de sterkte en taaiheid van deze delen nog steeds voldoende bedrijfszekerheid?

Om deze vragen te kunnen beantwoorden, werd aan de Bouwdienst gevraagd om op korte termijn een onafhankelijk, extern onderzoek in te gelasten. Dit onderzoek vond plaats in mei en juni 2007 en werd verricht door TNO Industrie en Techniek in Eindhoven.

2.2 Bereikt projectresultaat

Het direct tastbare projectresultaat is het onderzoeksrapport van TNO Industrie en Techniek nr. TNO-033-EH-2007-02283/rie van 12 juli 2007. Het rapport beantwoordt de vragen, zoals gesteld in 2.1, geeft inzicht in het karakter en mechanisme van diverse schaden en levert cijfermatige gegevens over de conditie en materiaalkwaliteiten van de gebroken constructiedelen. Deze gegevens maken het mogelijk om een afweging te maken tussen de geschikte reparatiemethoden. Ze kunnen ook worden gebruikt om de strategie van het beheer en onderhoud van de stuw zonodig bij te stellen.

Een indirect resultaat van het project bestaat uit een bijdrage aan de interne oordeel- en besluitvorming bij Rijkswaterstaat Limburg. Deze bijdrage werd geleverd in enkele overleggen met de betrokken partijen en personen. Op deze manier komen de resultaten van het onderzoek niet als verrassing over bij de klant. Bij de aanbevelingen wordt ook rekening gehouden met de omstandigheden ter plaatse, zonder dat de objectiviteit van het onderzoek in het geding komt. De belangrijkste overlegsessies en acties in dit kader waren:

- 15 maart 2007 in Roermond: Overleg over de doelstelling, scope, opzet en tijdsplanning van het onderzoek. Deelnemers: H. Michon, J. Verdaasdonk en R. Daniël.
- 19 maart – 13 april 2007: Formuleren, verstrekken en inleiden van de onderzoeksopdracht. Actie: R Daniël en H. Michon.
- 23 april 2007 in Lith: Verstrekking monsters en overleg met de betrokken partijen over het verloop van onderzoek. Deelnemers: A. de Koster, R. Daniël en H. van Stiphout (TNO).
- 25 juni 2007 in Lith: Overleg met alle betrokken partijen over het conceptrapport van TNO. Deelnemers: H. Michon, H. Goossens, E. Alleleijn, A. de Koster, R. Daniël en H. van Stiphout (TNO).
- 20 juli – 17 aug. 2007: Gelegenheid tot commentaar op het voorliggende rapport door alle betrokkenen.

Afhankelijk van nadere besluitvorming bij Rijkswaterstaat Limburg kan het bereikte projectresultaat ook van betekenis zijn voor het beheer van andere stuwen en sluizen uit de jaren 1930. De kwaliteiten van staal op deze objecten zijn immers vergelijkbaar – en zo zijn de resulterende veiligheden en risico's. Op dit aspect wordt nog ingegaan in het laatste hoofdstuk van de voorliggende notitie.

2.3 Onderwerp en scope van dit document

Deze slotnotitie vormt het eindproduct van het onderzoeksproject “Calamiteit Stuw Lith – Onderzoek materiaalbreuken”. De notitie bevat een weergave van de verrichte werkzaamheden en een presentatie van de bevindingen. Deze bevindingen zijn voor een deel gebaseerd op het onderzoeksrapport van TNO Industrie en Techniek “Calamiteit Stuw Lith - materiaalonderzoek” dat in het kader van dit project is opgesteld.

Terwijl het TNO-rapport zich echter tot de zuiver materiaaltechnische kwesties beperkt, is het onderwerp van de voorliggende notitie breder. Na de discussie over de onderzoeksresultaten wordt vooral stilgestaan bij de betekenis ervan voor verder beheer van Stuw Lith en andere waterbouwkundige staalconstructies van vergelijkbare leeftijd en met vergelijkbare onderdelen.

De hoofdstukken 1 en 2 hebben een inleidend karakter. Zij bevatten respectievelijk de formele en de inhoudelijke kenmerken van het project. Na de projectidentificatie zijn globaal de probleemstelling en het bereikte projectresultaat voorgesteld.

In hoofdstuk 3 zijn de uitgangspunten van het onderzoek gedefinieerd, zoals de constructie, de geometrie, en de belangrijkste onderdelen van de stuwschuiven, de waterstanden, huidig stuwregime enz. Er is globaal ingegaan op de conditie en materialen van de onderdelen die bij de bewuste calamiteit een rol hebben gespeeld. Op basis hiervan zijn de vraagstelling, scope en methode van het onderzoek gedefinieerd.

In hoofdstuk 4 zijn de belangrijkste onderzoeksresultaten herhaald en voorzien van commentaar. Er is geprobeerd om deze resultaten niet alleen uit het oogpunt van materiaalkunde te bespreken maar in een breed kader van de systeemwerking van de hele stuw.

Directe conclusies en aanbevelingen zijn gepresenteerd in hoofdstuk 5. Uit het karakter van de breukvlakken zijn de belastingen, de kwaliteiten en de omgevingscondities herleid die een rol speelden bij de bewuste calamiteit. Er is geprobeerd om de kans op herhaling in te schatten en om aanbevelingen op korte termijn te formuleren.

De leerpunten op lange termijn komen aan bod in hoofdstuk 6. Er wordt een rangorde van de oorzaken van de calamiteit geschetst. Deze leidt tot aanbevelingen – in de eerste instantie voor de hele Stuw Lith; en in de tweede instantie voor andere vergelijkbare objecten.

In hoofdstuk 7 zijn de eerder gepresenteerde bevindingen van deze slotnotitie teruggebracht tot een eindadvies.

Hoofdstuk 8 bevat een korte evaluatie van het onderzoeksproject.

3 UITGANGSPUNTEN VAN HET ONDERZOEK

3.1 Constructie en materialen stuwschuiven

De stuw in de Maas bij Lith maakt deel uit van een sluis-stuwcomplex en bestaat uit 3 openingen van 38 m breedte (Fig. 1). In de openingen bevinden zich stalen hefschuiven met zgn. bovenkleppen. De regeling van het stuwpeil vindt plaats door de bovenkleppen hoger of lager te zetten met behulp van de elektromechanische bewegingswerken boven op de heftorens. De hijskracht van de bewegingswerken wordt dan overgebracht naar de bovenkleppen door middel van (zgn. Gallsche) kettingen. Dezelfde kettingen en bewegingswerken kunnen worden gebruikt om de hele hefschuif omhoog te trekken ten behoeve van het spuien (met klep in stuwstand) of het volledig openen, zgn. "strijken" van de stuw (met omgelegde klep). In het laatst genoemde geval wordt de overtollige kettinglengte boven in de heftorens opgevangen.

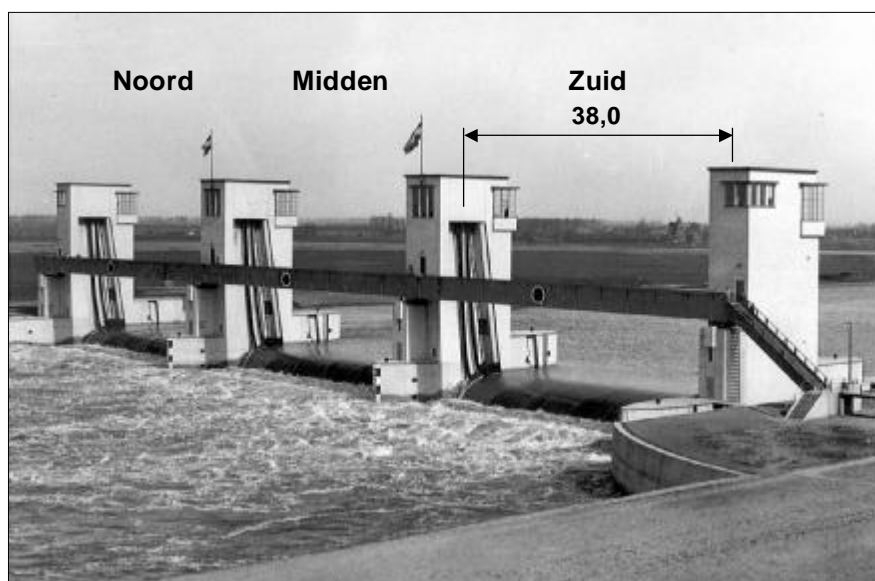


Fig. 1. Stuw Lith, overzicht

Beide bovengenoemde posities van de bovenklep en de belangrijkste peilmaten zijn weergegeven in Fig. 2. De zijdelingse ondersteuning van de schuiven in de pijlers en de beweging in de heftorens vinden plaats door middel van wielstellen. De afdracht van de belastingen geschiedt door middel van een systeem van de evenaars, zodat de optredende wioldrukken onder alle omstandigheden nagenoeg gelijk zijn.

De stuw beschikt ook over een noodafsluiting, bestaande uit de op de bodem te bevestigen jukken, waartegen enkele glijdschuiven worden opgestapeld. De noodafsluiting bevindt zich aan de bovenstroomse zijde en maakt het mogelijk om de kerende functie van één opening over te nemen t.b.v. het onderhoud aan de schuif.

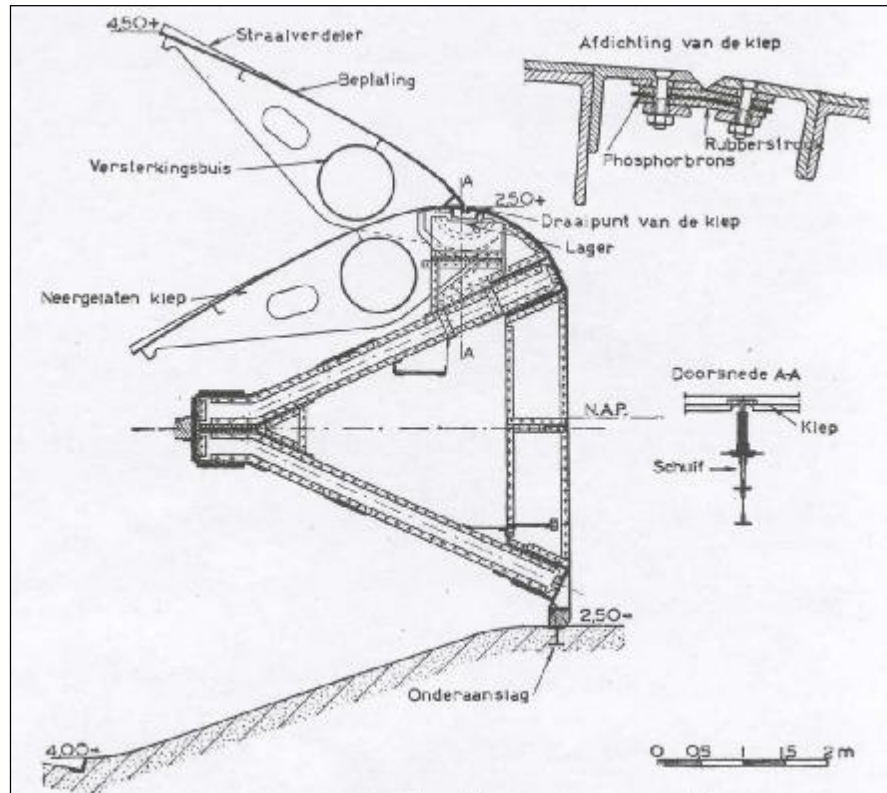


Fig. 2. Stuw Lith, hefschuif met bovenklep

De staalconstructie van de hefschuiven en bovenkleppen dateert uit 1935. De staalsoorten die in deze constructie zijn toegepast, verschillen dus aanzienlijk van de huidige normen. In de tabel hieronder zijn de oorspronkelijke staalsoorten weergegeven, met daarnaast de meest overeenkomende staalsoorten volgens de huidige normen (Tabel 1).

Tabel 1. Staalsoorten in schuiven en bovenkleppen Stuw Lith

| Onderdeel | Origineel staal­soort | Vergelijkbaar huidig staal | Huidige norm |
|----------------|------------------------|----------------------------|--------------|
| Plaatmateriaal | St 37, Siemens-Martin | S235J0 | NEN EN 10025 |
| Profielstaal | St 37, Thomasproces | S235J0 | NEN EN 10025 |
| Gietstukken | Stg 52, Siemens-Martin | GS355J0 | NEN EN 10293 |
| Assenstaal | Smeedstaal St 50 | S355J0 | NEN EN 10250 |
| Klinknagels | Klinknagelijzer St 34 | S235J2 | NEN EN 10025 |

3.2 Omstandigheden calamiteit van januari 2007

De calamiteit van januari 2007 vond plaats na een periode van hoge waterstanden op de Maas, waarbij de stand van de stuwkleppen vaker dan normaal moest worden bijgesteld. Op vrijdag 26 januari is door de bediening van de stuw geprobeerd om de klep van de schuif Zuid op te trekken. Tijdens deze handeling is de klep (vermoedelijk met de ketting eraan) omlaag gevallen en zijn aan de zuidzijde de kettingpen en de gietstalen zgn. klep hefboom gebroken (Fig. 3). Ook andere onderdelen hebben aanzienlijke schade opgelopen, hetzij door materiaalbreuken hetzij door vervormingen of verplaatsingen uit de nominale stand.

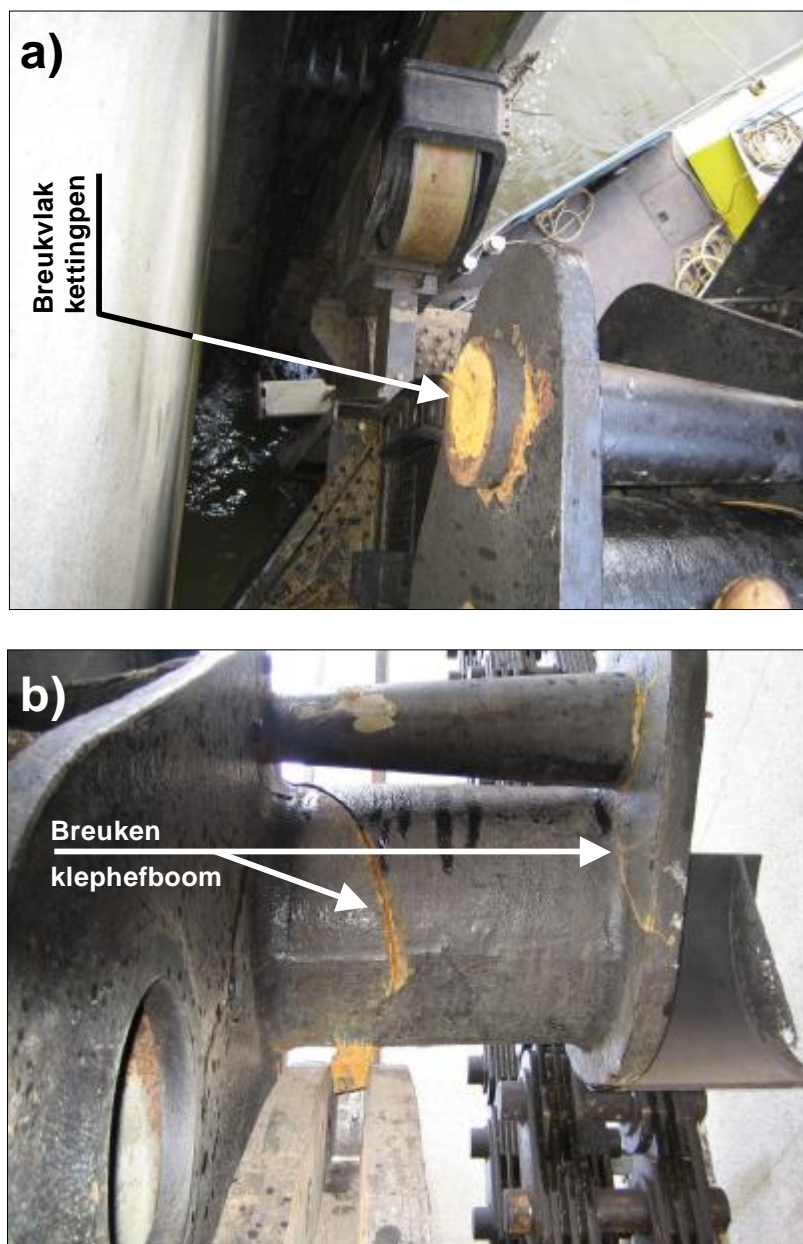


Fig. 3. Materiaalbreuken in kettingpen (a) en klep hefboom (b)

De volgende dag, op zaterdag 27 januari, is geprobeerd om de hele hefschuif op te hijsen om de schade te kunnen opnemen. Dit is niet gelukt. De schuif kwam vast te zitten in de positie van ca. 1 m boven de stuw drempel en kon ook niet meer terug op de drempel zakken.

Het gevolg van de ontstaande situatie was een hoge, ongecontroleerde doorstroming zowel boven als onder de schuif (Fig. 4). Daarom is er een crisisteam, zgn. "out-of-the-box-team", tot leven geroepen, dat in de volgende dagen de situatie en diverse mogelijke oplossingen continu evalueerde.

Op dinsdag 30 januari is het gelukt om de schuif weer op de drempel te zetten. In de daarop volgende dagen is met behulp van een kraan op ponton de noodkering ingezet; en is de bovenklep opgetrokken en met een hulpconstructie (o.a. stalen kolommen) gefixeerd. In deze positie vervult de schuif Zuid weer de waterkerende functie, maar er is geen regeling van de stuwpeil mogelijk. Deze regeling vindt nu plaats door de openingen Midden en Noord.



Fig. 4. Doorstroming over en onder schuif Zuid

Het exacte verloop en de volgorde van de materiaalbezwijkingen zijn moeilijk te reconstrueren, omdat het besturingssysteem een aantal keer werd uit- en ingeschakeld bij het signaleren van de storingen. Hierdoor zijn alle gegevens over deze storingen gewist en het is niet mogelijk om de opgetreden overschrijdingen van de veiligheid in te schatten. Het meest waarschijnlijke faalscenario is geschetst in hoofdstuk 6.

3.3 Vraagstelling van het onderzoek

Gezien de ernst van de calamiteit en de hoge leeftijd van de constructie werd in overleg met Rijkswaterstaat Limburg besloten om het materiaal van de bezweken delen te laten onderzoeken. In nauwe samenwerking met de beheerder is door Rijkswaterstaat Bouwdienst een document opgesteld met het plan van het onderzoek, doc. CSL-B-07005 van 19 maart '07. Dat document bepaalde naast de vraagstelling ook de scope, de tijdsduur, de wijze van rapportage, afrekening, de contactpersonen enz. van het onderzoek.

De onderzoeksopdracht werd op 4 april 2007 door Rijkswaterstaat Limburg verstrekt aan TNO Industrie en Techniek in Eindhoven, een vooraanstaand Nederlands onderzoeksinstituut op dit terrein. De vraagstelling van het beoogde onderzoek luidde als volgt:

1. Wat was precies de volgorde en het scenario van de opgetreden materiaalbreuken?
2. Welke technische mechanismen (bijv. statische overbelasting, stootbelasting, materiaalmoeheid) hebben tot deze breuken geleid?
3. Zijn de relevante mechanische eigenschappen van de gebroken onderdelen (bijv. materiaalsterkte, taaiheid) en de conditie ervan (bijv. scheuren, slijtage, corrosie) nog steeds acceptabel?
4. Was de calamiteit te voorkomen in de sfeer van beheer en/of handelen ter plaatse? Heeft menselijk (ook organisatorisch) falen een rol gespeeld?

Vragen 1 en 2 weerspiegelden de wens om het faalmechanisme van de betreffende opening van de stuw zo goed mogelijk te reconstrueren. Op dat moment was de opdrachtgever er echter nog niet van bewust dat de gegevens over de calamiteit van het besturingssysteem waren gewist, zie toelichting in 3.2.

Vraag 3 hield verband met de hoge leeftijd van de staalconstructie. Afgezien van de verouderingsprocessen, is ook bekend dat het staal uit de jaren 1930 doorgaans hogere koolstofgehalte bevat en dus brosser is dan de huidige constructiestalen. De vraag was in hoeverre dit een rol heeft gespeeld en dus een zorgpunt vormde voor meerdere sluizen en stuwen uit deze periode.

In vraag 4 ging het om het trekken van de lessen uit deze calamiteit in de sfeer van beheer, bediening en onderhoud ter plaatse. Al lag deze vraag buiten de scope van een materiaalonderzoek, was de mening van de onafhankelijke derde partij (TNO) in deze kwestie toch interessant voor de opdrachtgever.

3.4 Scope en methode van het onderzoek

In het onderzoeksplan, doc. CSL-B-07005, stonden ook bepalingen ten aanzien van de scope en de methode van het onderzoek. Om tot de antwoorden op de bovengenoemde vragen (zie 3.4) te komen, dienen tenminste de volgende materiaalonderzoeken, laboratoriumproeven en andere werkzaamheden te worden uitgevoerd:

1. Inspectie van de situatie ter plaatse in Lith, interview van het stuwbedienend personeel, overleg met de opdrachtgever en de onderzoeksleider van Rijkswaterstaat.
2. Visueel en macroscopisch onderzoek van de onderdelen, vastleggen van resultaten met duidelijke referenties naar de locaties (bijv. door middel van foto's).
3. Microscopisch breukvlakonderzoek en – indien relevant – onderzoek van de kristallijne structuur van het materiaal, met als doel de vaststelling van het breuktype en breukparameters (krachtniveau bij overbelasting, aantal cycli bij vermoeiing e.d.).
4. Hardheids- en/of microhardheidsmetingen van de gebroken onderdelen, met als doel om mede op grond hiervan de brosheid ervan te bepalen.
5. Kerfslagproeven en bepaling van de kerfslagwaarden, met hetzelfde doel als in p. 4.
6. Bepaling van de chemische samenstelling van het materiaal van de gebroken onderdelen, met bijzondere aandacht aan de elementen die bij de breuk een rol hadden kunnen spelen.
7. Bepaling van de treksterkte van het materiaal van de afgebroken pen en oog (klep hefboom).
8. Bepaling van andere tijdens het onderzoek aangetroffen factoren die mogelijk tot de breuk hebben bijgedragen.
9. Opstellen van het conceptrapport en overleg daarover met de onderzoeksleider en de vertegenwoordiger(s) van de stuwbeheerder.
10. Verwerking van het ontvangen commentaar; opstellen en indienen van het definitief rapport in 10 exemplaren.

Er zijn ook afspraken gemaakt over het verstrekken van monsters gebroken materiaal, het communiceren van tussentijdse resultaten, het aantal en de tijdstippen van overleggen enz. Op 23 april '07 heeft de opdrachtnemer een bezoek gebracht aan de stuw. Tijdens dat bezoek (tegelijk een visuele inspectie) is hem nadere informatie verstrekt over de calamiteit, alsmede de kopieën van de tekeningen van de betrokken onderdelen. Als onderzoeksmateriaal zijn hem het afgebroken stuk van de kettingpen en een ter plaatse uitgesneden stuk van de klep hefboom overhandigd.

4 ONDERZOEKSRÉSULTATEN

4.1 Visueel en macroscopisch onderzoek

Visueel en macroscopisch onderzoek door TNO heeft plaatsgevonden op 23 april '07. De belangrijkste bevindingen ervan zijn gerapporteerd in p. 3.1 en 3.2 van het onderzoeksrapport van TNO, TNO-033-EH-2007-02283/rie. Hier is een korte samenvatting van deze bevindingen:

1. Voor zover mogelijk zijn alle beschadigde onderdelen beschouwd, dus niet alleen de gebroken kettingpen en klep hefboom, maar bijv. ook het machinewerk in heftoren Zuid, de torsiebuis van de klep, de afgebroken nokken enz. Ter vergelijking is de toestand van deze onderdelen in heftoren Noord waargenomen.
2. Het machinewerk aan heftoren Zuid blijkt deels te zijn ontzet. De geleiderails aan deze zijde zijn vervormd en vertonen schraapsporen. Het wordt waarschijnlijk geacht dat deze sporen het gevolg zijn van het door de geleiderails heen vallen van de kettingen met verlengde pennen. Hierdoor zou de klep "in één klap" naar beneden vallen.
3. Na de reiniging van het breukvlak van de pen (Fig. 5) bleek dat dit vlak twee verschillende morfologieën bevat: een gladder vlak aan de rand en een bros breukvlak in de kern van de pen. De brosse breuk lijkt te zijn geïnitieerd vanuit het eerder aanwezige gladde breukvlak.
4. Het uitgenomen monster van de klep hefboom (gietstuk) bevat een hoofdscheur en een secundaire scheur (Fig. 6). De scheuren hebben ruw vlak maar de scheurgroeilijnen zijn daarop wel traceerbaar.

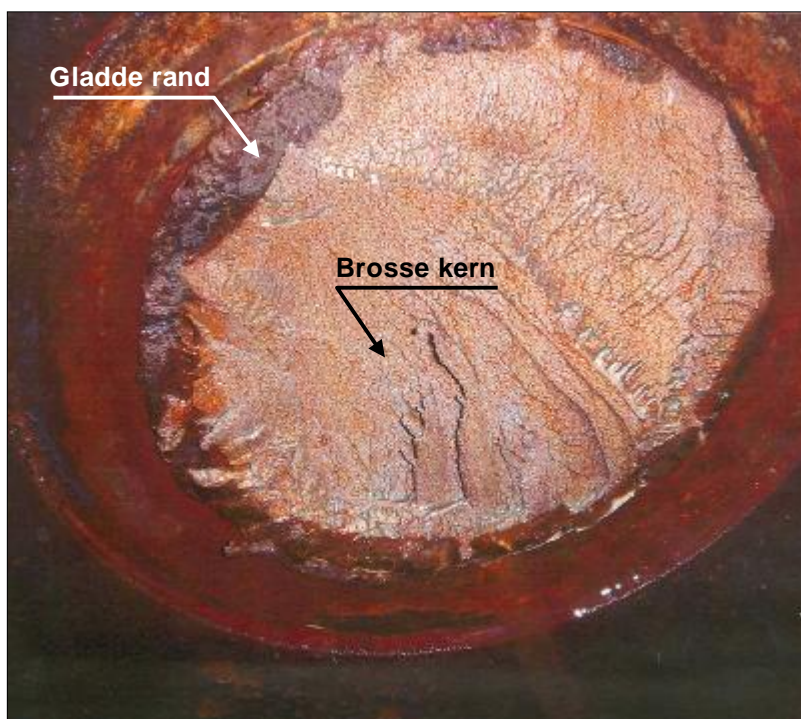


Fig. 5. Breukvlak van de kettingpen (afgebroken deel)

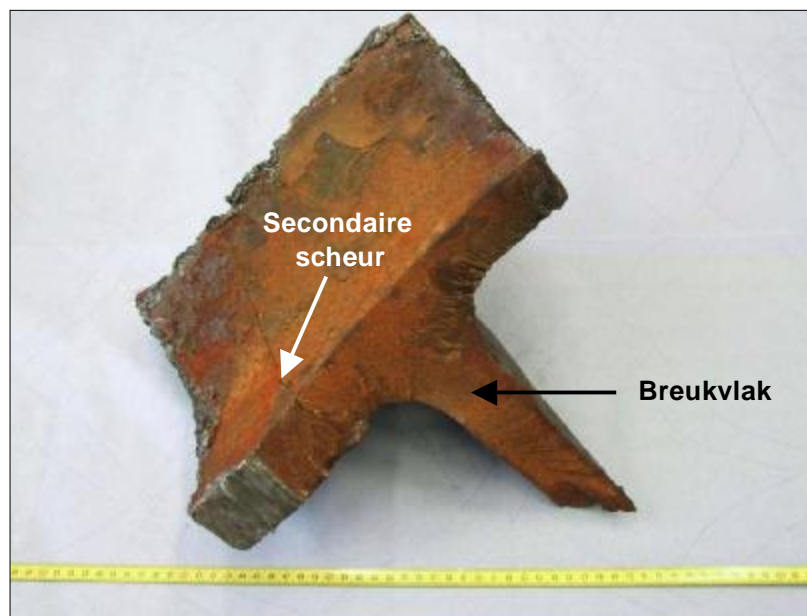


Fig. 6. Hoofdscheur (breukvlak) en secondaire scheur in gietstuk

5. In tegenstelling tot de pen was het breukvlak van het gietstuk vrijwel vervormingloos, wat erop duidt dat de breuk een nog brosser karakter had gehad. Dit wordt ook bevestigd door het feit dat het gietstuk op meerdere plaatsen tegelijk was gescheurd.
6. Naast de conditie van de breukvlakken kon men uit het visueel en macroscopisch onderzoek ook de richting van de scheurgroei aanwijzen. De details over deze richting – zowel voor de kettingpen als voor de klep hefboom (gietstuk) – staan in de bijlagen van het TNO-rapport TNO-033-EH-2007-02283/rie.

Al deze informatie was richtinggevend voor nader onderzoek, zie de volgende secties van dit hoofdstuk.

4.2 Microscopisch onderzoek en chemische analyse

Microscopisch onderzoek werd verricht met behulp van een Raster Elektronen Microscoop (REM), uitgerust met een zgn. EDS faciliteit voor röntgen microanalyse. Dit apparaat maakt het o.a. mogelijk om de breuktypen (bros, taai, geweld, vermoeiing) nog beter vast te stellen.

Op het breukvlak van de pen is bij een REM opname nog duidelijker het verschil te zien tussen het initiatiegebied en het voortgangsgebied van de scheur (Fig. 7). Het initiatiegebied is gladder en zwaarder door corrosie aangetast. Dit wijst erop dat het enige tijd voor de calamiteit van januari 2007 al heeft bestaan – en dat er (mogelijk) een aantal sterke belastingwisselingen in deze periode zijn opgetreden. Dat laatste is een vermoeden, dat niet in het TNO-rapport wordt uitgesproken, maar kan een verklaring zijn van het gladheidsverschil. Ook het verschil in de hardheid (200 HV in de initiatiezone en 150 HV in de kern) wijst in die richting. Vele assenstalen vertonen hardheidstoename na de initiële vervorming van het oppervlak.

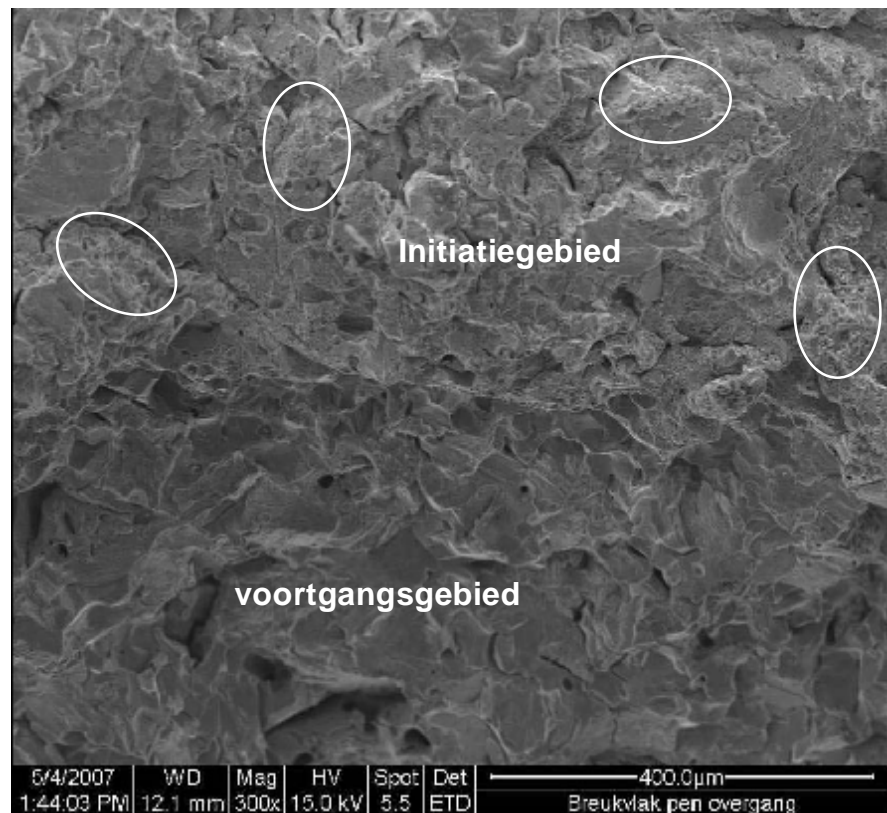


Fig. 7. Initiatie- en voortgangsgebied van de scheur in pen (omcirkeld zijn enkele duidelijke corrosieputten)

Het TNO-rapport stelt vast dat de initiatiescheur niet in maar naast de oplassing op de pen loopt. Deze oplassing werd in 1995 uitgevoerd i.v.m. de overgang naar een klepketting van grotere diameter. Daarna

zijn de pennen in ingebouwde toestand op de juiste diameter bewerkt, de meeste met een mobiele draaibank en één – aan de zuidzijde van de zuidelijke opening – met een slijptol (informatie A. de Koster, DLB).

Het breukvlak van de klep hefboom (gietstuk) bleek ook in het microscopisch onderzoek overal bros te zijn, zonder onderscheid tussen initiatie- en voortgangsgebieden. De microstructuur van het materiaal bestond uit een ferrietkorrels met dendritisch georiënteerde en perliet (Fig. 8). De hardheid bedroeg overal ongeveer 150 HV.

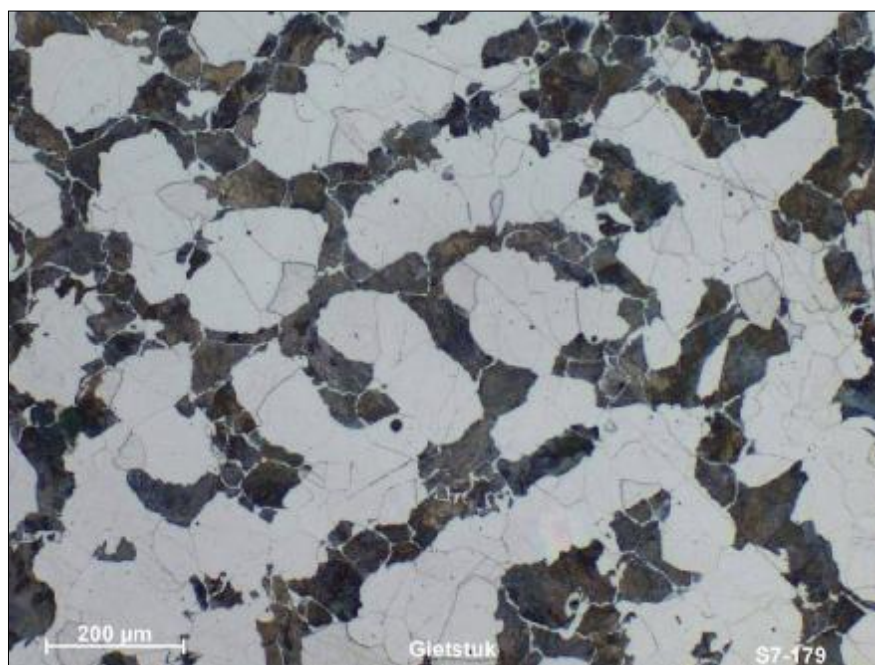


Fig. 8. Microstructuur van de gietstalen klep hefboom (licht zijn ferrietkorrels, donker - perliet)

Uit de chemische analyse bleek dat zowel het materiaal van de pen als dat van het gietstuk een hoge koolstofgehalte bevatte. Deze bedroeg respectievelijk 0,31% en 0,24%, terwijl bij moderne staalsoorten door Rijkswaterstaat maximaal ca. 0,16% wordt toegestaan. Dit verklaart deels de brosheid van beide materialen. Toch zijn deze koolstofgehalten niet vreemd zijn voor de stalen uit de jaren 1930. Het gevaar van de brosse breuk en de eisen m.b.t. de taaiheid van het materiaal kwamen in de staalconstructies pas later aan de orde. Hieronder (Tabel 2) meer resultaten van de chemische analyse in het TNO-rapport.

Tabel 2. Resultaten chemische analyse kettingpen en klep hefboom

| | %C | %Si | %Mn | %S | %P | %Cu | %Al |
|--------------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Kettingpen | 0,31 | 0,24 | 0,93 | 0,07 | 0,08 | 0,07 | 0,010 |
| Klep hefboom | 0,24 | 0,42 | 1,34 | 0,03 | 0,05 | 0,10 | 0,008 |

4.3 Mechanische proeven

Overeenkomstig de aanvraag (zie 3.4) zijn door TNO de twee volgende mechanische beproevingen uitgevoerd:

- Trekproeven op het materiaal van de pen en het gietstuk;
- Kerfslagproeven op het materiaal van de pen en het gietstuk.

Enkele details van de kettingpen en het gietstuk – zoals aangegeven op de originele tekeningen van de stuw – zijn weergegeven in Fig. 9, 10 en 11. Deze tekeningen komen uit het onderhoudsarchief van de RWS Bouwdienst. De wijzigingen die na de overdracht van de stuw door de beheerder zijn aangebracht (o.a. het oplassen van de kettingpennen in 1995, zie p. 4.2), zijn hier niet weergegeven.

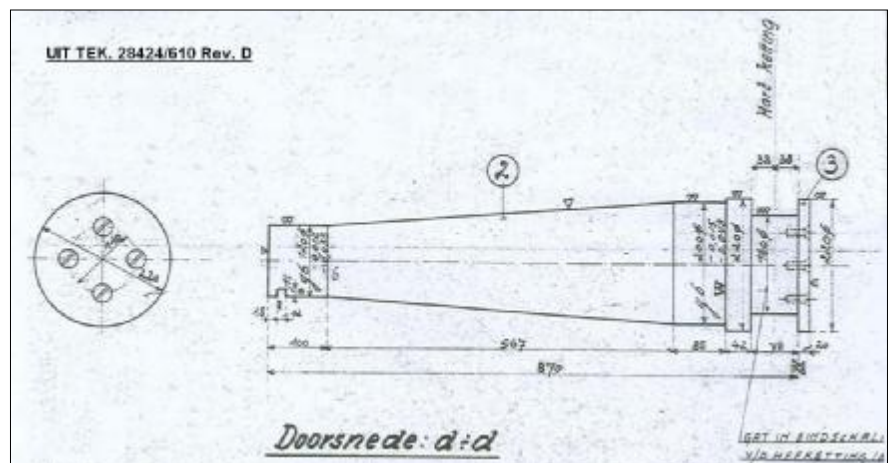


Fig. 9. Kettingpen - zoals origineel ontworpen

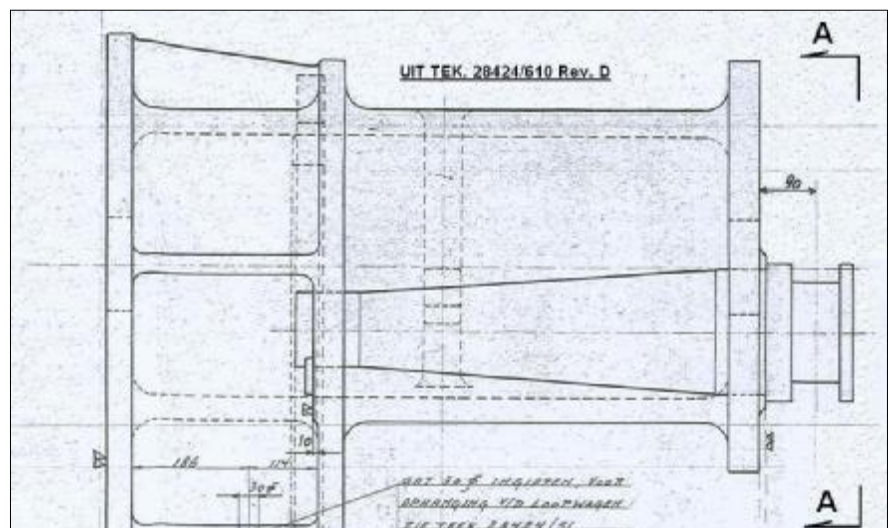


Fig. 10. Detail klep hefboom, zij aanzicht - zoals origineel ontworpen

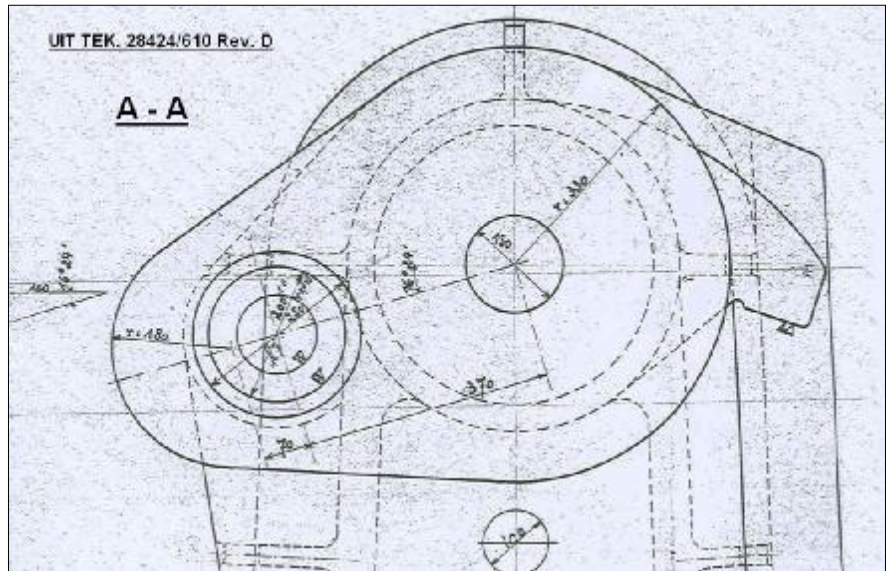


Fig. 11. Detail klep hefboom, aanzicht A-A - zoals origineel ontworpen

De mechanische beproevingen zijn verricht op de materiaalmonsters en onder de condities volgens EN 10021, EN 10025-1 en 3 en EN 10002-1. Hierbij is de trekstaf van de pen in tangentiële richting uitgenomen, dus niet in de lengterichting, zoals in de meeste normen aanbevolen. Dit mag als conservatief worden gezien. De kerfslagproeven vonden plaats volgens de Charpy-V methode in temperatuur 0°C.

De resultaten van de trekproeven en de kerfslagproeven uit het TNO-rapport zijn weergegeven in respectievelijk Tabel 3 en 4.

Tabel 3. Resultaten trekproeven kettingpen en klep hefboom

| | $\sigma_{0,2}$ (Mpa) | σ_{max} (Mpa) | Rek (%) | Insnoering (%) |
|--------------|----------------------|----------------------|---------|----------------|
| Kettingpen | 253 | 489 | 9 | 7 |
| Klep hefboom | 278 | 542 | 2 | 48 |

Tabel 4. Resultaten kerfslagproef kettingpen en klep hefboom

| | Temperatuur (°C) | Kerfslagwaarde (Joule) | Kerfslagwaarde (Joule/cm ²) |
|--------------|------------------|------------------------|---|
| Kettingpen | 0 | 3, 3, 3 | 4 |
| Klep hefboom | 0 | 3, 3, 3 | 4 |

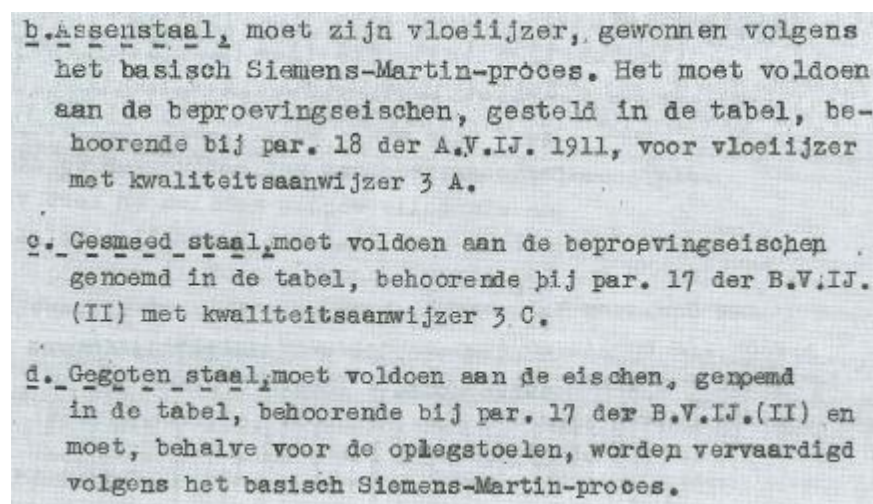
Voor de bespreking van de resultaten in tabel 3 en 4 wordt verwezen naar sectie 5.2 van dit document.

5 DIRECTE CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

5.1 Karakter materiaalbreuken

Zoals vastgesteld in hoofdstuk 4, is het karakter van de onderzochte materiaalbreuken bros. Het breukvlak van de gietstalen klep hefboom is daarbij brosser dan het breukvlak van de kettingpen waarop enige ductiliteit van het materiaal is te zien. De brosheid van beide materialen staat vast en wordt bevestigd zowel door macroscopisch onderzoek als door microscopisch onderzoek, chemische analyse en mechanische beproevingen.

De geconstateerde brosheid kan vooral worden toegeschreven aan de materiaaltechnologie van de jaren 1930. Men stelde toen weinig of geen eisen aan andere dan sterkte mechanische eigenschappen van staal. In het stuk "OVEREENKOMST voor het leveren en inhangen van drie afsluitende elementen voor de Stuw Lith, behorende tot de werken der Maasverbetering" uit 1935 wordt alleen het volgende vereist t.a.v. de materialen van de betrokken onderdelen (Fig. 12):



b. Assenstaal, moet zijn vloeiijzer, gewonnen volgens het basisch Siemens-Martin-proces. Het moet voldoen aan de beproevingseischen, gesteld in de tabel, behorende bij par. 18 der A.V.IJ. 1911, voor vloeiijzer met kwaliteitsaanwijzer 3 A.

c. Gesmeed staal, moet voldoen aan de beproevingseischen genoemd in de tabel, behorende bij par. 17 der B.V.IJ. (II) met kwaliteitsaanwijzer 3 C.

d. Gegoten staal, moet voldoen aan de eischen, genoemd in de tabel, behorende bij par. 17 der B.V.IJ. (II) en moet, behalve voor de oplegstoelen, worden vervaardigd volgens het basisch Siemens-Martin-proces.

Fig. 12. Materiaaleisen in origineel contract uit 1935

De verwijzing naar een document uit 1911 (zie b in Fig. 12) plaatst het originele contract nog verder in het verleden wat betreft het niveau van de materiaaltechnologie.

Naast de oude materiaaltechnologie heeft ook de veroudering van staal bijgedragen tot de geconstateerde brosheid. De exacte mate waarin dit fenomeen een rol heeft gespeeld, is moeilijk in te schatten. Toch kan men ervan uitgaan dat de invloed van de veroudering veel kleiner was dan van de oude materiaaltechnologie.

5.2 Materiaalkwaliteiten, conditie onderdelen

De proefresultaten in tabellen 3 en 4 (zie hoofdstuk 4) laten zien dat de statische sterkte-eigenschappen van beide materialen redelijk zijn: De treksterkte ligt in de beurt van de originele specificaties voor resp. St 50 en Stg 52; de 0,2-rek grens ligt weliswaar beneden de huidige eisen voor vergelijkbare stalen maar – aangezien de grote diameter en dikte van de onderdelen – is niet veel te laag. Wel ongunstig zijn de zeer lage waarden van de rek en (voor kettingpen) insnoering in Tabel 3. Ter vergelijking: De minimum rek van de vergelijkbare huidige staalsoorten van de groep S355 is ca. 20%. Over de insnoering kan moeilijk een oordeel worden gegeven in verband met het onverklaarbaar grote verschil tussen de getallen voor de pen en het gietstuk. De lage rek en insnoering bevestigen het beeld van een tamelijk bros materiaal van beide onderdelen.

Dit beeld wordt nog verder versterkt door zeer lage kerfslagwaarden van beide materialen, zie Tabel 4. Ter vergelijking: De huidige norm NEN EN 10025 vereist voor de onderdelen t/m 150 mm dikte een minimum kerfslagwaarde van 27 J; en voor grotere dikten 23 J. In de materiaalspecificaties van Rijkswaterstaat wordt meestal 28 J geëist. De waargenomen kerfslagwaarden van 3 J voor zowel de kettingpen als klep hefboom liggen dus een orde van grootte lager.

Een algemene conclusie is dat men in de onderzochte onderdelen te maken heeft met het materiaal van de redelijke sterkte maar zeer grote brosheid (lage taaiheid). Dit materiaal is dus redelijk geschikt voor de opname van hoge statische belastingen, maar weinig geschikt voor de opname van sterk wisselende belastingen en vrijwel ongeschikt voor de opname van stootbelastingen. Het is van groot belang dat met name de stootbelastingen tijdens de bediening van Stuw Lith worden vermeden.

Zoals eerder vermeld (zie. p. 3.2), hebben ook andere onderdelen van de stuwopening Zuid schade opgelopen als gevolg van de calamiteit van januari 2007. Hierbij kan men – in het algemeen – twee groepen schadegevallen onderscheiden:

- Direct waarneembare schade, zoals het verschoven machinewerk op toren Zuid (Fig. 13 a), getordeerde torsiebuis van de bovenklep (Fig. 13 b), afgebroken nokken op de zuid- en noordzijde van de opening Zuid (Fig. 14 resp. a en b) enz.
- Schade die nog niet in zicht is gekomen, maar zich mogelijk later zal manifesteren, bijvoorbeeld nieuwe scheuren of vergroting van de bestaande scheuren in diverse onderdelen, vervormingen enz.

Voor de details over de eerste groep van deze schadegevallen wordt verwezen naar het inspectierapport van het bureau Klein Mechaniek “Schaderapport Stuw Lith” van april 2007. Over de tweede groep zijn nog geen details bekend.

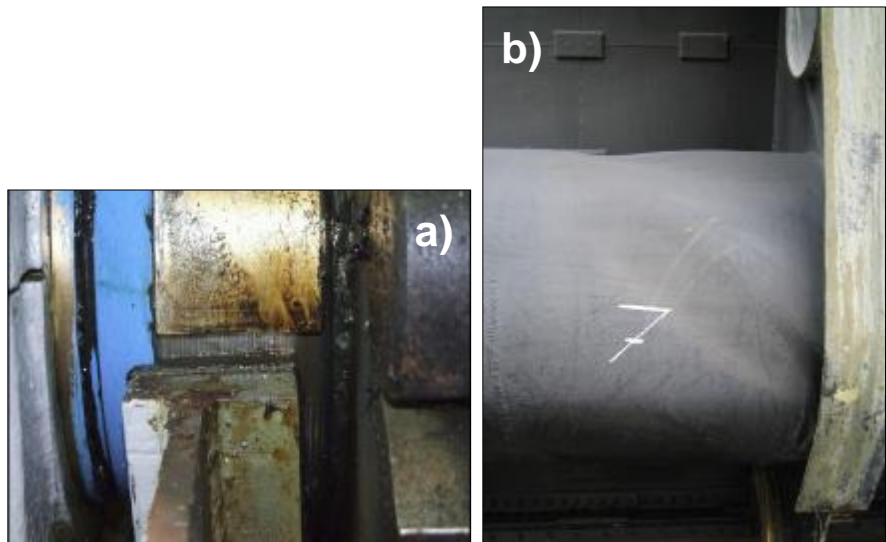


Fig. 13. Voorbeelden andere waargenomen schadegevallen (1)
 a) Vershoven machinewerk op zuidelijke heftoren;
 b) Getordeerde torsiebuis van de bovenklep schuif Zuid.

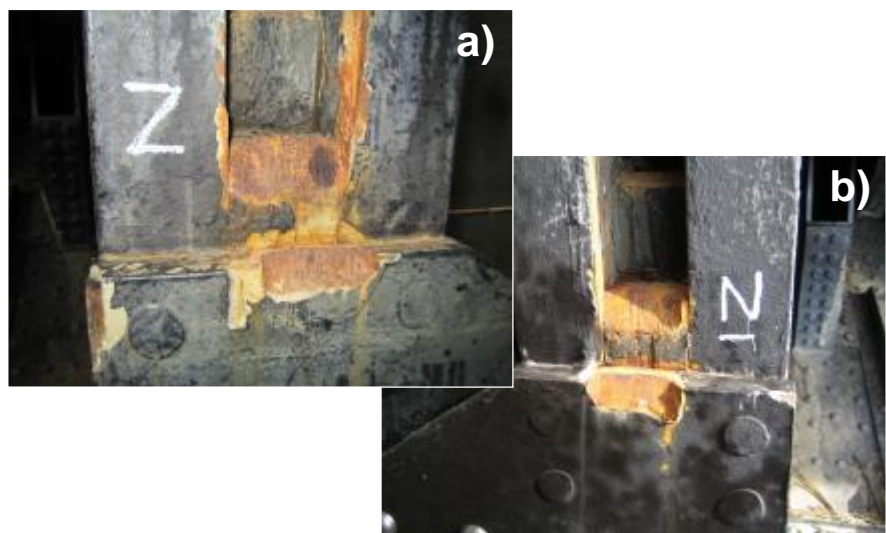


Fig. 14. Voorbeelden andere waargenomen schadegevallen (2)
 b) Afgebroken nok aan de noordzijde van schuif Zuid;
 b) Afgebroken nok aan de zuidzijde van schuif Zuid.

5.3 Directe aanleiding tot materiaalbreuken

Vast staat dat de directe aanleiding tot de opgetreden materiaalbreuken een stootbelasting is geweest. Deze stootbelasting was het gevolg van de val van de bovenklep. De daarbij opgetreden momentane krachten op de kettingpen en klephefboom waren aanzienlijk groter (mogelijk 2 of meer keer) dan de krachten die tijdens normaal bedrijf optreden. Een meer nauwkeurige inschatting van deze krachten is moeilijk vanwege het gebrek aan gegevens over de valhoogte, spanningen die mogelijk direct voor de val in de constructie waren opgebouwd enz.

Het onderzoek sluit duidelijk uit dat vermoeiing een directe aanleiding tot de materiaalbreuken zou hebben gegeven. Het karakter van deze breuken (zie p. 5.2), de structuur van de breukvlakken (zie 4.1 en 4.2) spreken dit tegen. Het is weliswaar mogelijk dat vermoeiing heeft bijgedragen tot het ontstaan van de initiële scheurtjes in de kettingpen (zie "gladde rand" in Fig. 5, "initiatiegebied" in Fig. 7 e.a.), maar zulke bewering is moeilijk te bewijzen. Deze scheurtjes zouden ook hebben kunnen ontstaan door de impact van de warmte tijdens het oplassen van de pennen (zie p. 4.2). Zie sectie 6.1 voor de details en bespreking van dit aspect.

Niet uit te sluiten maar weinig waarschijnlijk is de mogelijkheid dat er ook een statische overbelasting een rol heeft gespeeld. Zulke belasting zou theoretisch hebben kunnen ontstaan bij het ongeëvenaard heffen van de bovenklep als gevolg van het resetten van het systeem na de storing. Zie verdere discussie over de hoofd- en medeoorzaken van de calamiteit in sectie 6.1. Ook dit scenario resulteert echter in de val van de bovenklep als directe aanleiding tot meer materiaalbreuken.

5.4 Kans op herhaling, factoren van betekenis

Bij de inschatting van de kans op herhaling van een dergelijke calamiteit dient men het probleem vanuit de twee volgende kanten te bekijken:

1. Kant van de sterkte. Concreet: Wat is de mate van onze zekerheid dat de constructie incidentele stootbelastingen kan dragen?
2. Kant van de belastingen. Concreet: Wat is de kans dat dergelijke of grotere belastingen in de toekomst weer zullen optreden?

Een volledige analyse van dit vraagstuk is dus probabilistisch van aard en valt buiten de scope van dit onderzoeksproject. Het onderzoek beperkt zich immers tot materiaalkundige aspecten. Hieronder volgt slechts een globale opsomming van de meespelende factoren.

Bij de analyse aan de kant van de sterkte (1) komen o.a. de volgende aandachtspunten aan de orde:

- Wat zijn de veiligheidsmarges in de bestaande berekeningen van de constructie? Zijn er sindsdien aanpassingen, calamiteiten e.d. geweest, die van invloed hierop zouden kunnen zijn?
- Wat is de materiaalkwaliteit en de toestand van de belangrijkste lastdragende onderdelen van de constructie?
- De staalconstructie en de bewegingswerken functioneren sinds 1935 naar behoren. De beheerder had tot nu toe flink vertrouwen in dit kunstwerk.
- Hoe gevoelig is de constructie op stootbelastingen? Is er ooit met deze belastingen gerekend; indien niet – alsnog inschatten.

Bij de analyse aan de kant van de belasting (2) komen o.a. de volgende aandachtspunten aan de orde:

- Zijn de huidige (hydraulische en andere) belastingen van de stuw nog steeds zoals oorspronkelijk aangenomen? Indien niet – wat zijn de verschillen?
- Kwamen er nog nieuwe belastingen bij, bijvoorbeeld als gevolg van een andere bediening of onderhoud? Zijn er belastingen door menselijk falen mogelijk, wat zijn hier de faalkansen van?
- Sinds de komst van de waterkrachtcentrale zijn de belastingen op de bovenkleppen (dus ook de draaipunten ervan) toegenomen. De kleppen werken meer als een keer- dan als een overstortmiddel¹⁾. Wat is het effect hiervan op bijv. de levensduur van de pennen?
- Is het huidige beheersscenario zodanig dat onvoorziende standen en belastingen van de stuw worden uitgesloten? Indien niet – wat is de faalkans van deze standen/belastingen?
- Wat zijn de bronnen, de grootte en de frequentie van de mogelijke stootbelastingen?

Zonder verdere analyse is er toch sprake van het vermoeden (al is dat niet meetbaar) dat de kans op herhaling van een soortgelijke calamiteit groter is dan in het verleden. De oorzaken hiervan zouden o.a. zijn:

¹⁾ Volgens de informatie van betrokken personeel (A. de Koster, DLB) moesten hierdoor in 2004 en 2005 de tussendraaipunten worden vervangen omdat de bronzen voeringen van de oude draaipunten zijn gaan vloeien.

In de sfeer van het beheer:

- Het onderhoud aan de stuw is sinds kort uitbesteed in een zgn. "prestatiecontract". Het resultaat is dat de aannemer nu minder frequent en minder diepgaand onderhoud pleegt.
- In de loop der jaren is er steeds minder menselijk toezicht op het functioneren van de (componenten van de) stuw ontstaan. Het toezicht via camera's is minder scherp, dus minder effectief.
- Het systeem laat niet altijd zien wat de oorzaak dan de storing is. Bij gebrek aan menskracht en in lijn met de scheiding van de onderhoudstaken wordt dan ook niet geprobeerd om deze oorzaak ter plaatse te traceren.
- Door reorganisaties, natuurlijk verloop e.a. zijn veel mensen die de stuw door en door kenden, uitgetreden. De nieuwe generatie moet nog de kans krijgen om er ervaring mee op te doen.

In de sfeer van de techniek:

- Er wordt veel minder gesmeerd, waarvan vooral de kettingen veel last hebben. Het komt o.a. regelmatig voor dat de kettingen onder volle belastingen niet strak staan (Fig. 15).
- Zoals vermeld, laat het systeem niet altijd zien wat de oorzaak van de storing is. In zulke gevallen wordt op de "reset-knop" gedrukt, waarna de handeling wordt voortgezet. Dit moet onmogelijk zijn of zwaar ontraden zonder duidelijkheid over de storingsoorzaak.
- De logging van gegevens over storingen is te makkelijk uitwisbaar.
- Er is in het verleden niet altijd bedrijfsvaardig met de constructie van de stuw omgegaan. Voorbeelden zijn: het oplassen en met een slijptong bewerken van één kettingpen, handmatig bewerken van enkele rondsels ter plaatse e.d.
- De constructie is onderhevig aan veroudering, slijtage, corrosie e.a. tijdsafhankelijke processen.



Fig. 15. Geknikte ketting onder volledige belasting van ca. 4000 kN (inspectierapport Klein Mechaniek van 19 april 2007)

Als beheersmaatregelen kunnen dus acties worden aanbevolen die de bovenbeschreven oorzaken wegnemen of reduceren. Enkele van zulke acties zullen in sectie 5.5 en in hoofdstuk 6 worden voorgesteld.

5.5 Aanbevelingen op lokaal niveau

Uit de factoren die de kans op herhaling beïnvloeden (zie 5.4) kunnen beheersmaatregelen worden afgeleid, met als doel om deze kans te minimaliseren. Er wordt onderscheid gemaakt tussen de maatregelen op lokaal niveau (Stuw Lith) en in ruimer verband (op meerdere objecten). Stilzwijgend wordt ervan uitgegaan dat de maatregelen van de eerste groep meestal op korte termijn kunnen worden gerealiseerd – en de tweede groep maatregelen op lange termijn. Al hoeft dit niet overal waar te zijn, heeft deze aanname toch een reden: De behoefte aan de maatregelen op andere objecten is voorlopig nog niet zo gedetailleerd onderzocht als op Stuw Lith.

De mogelijke maatregelen op lokaal niveau zijn:

In de sfeer van het beheer:

- De keuze voor een “prestatiecontract” bij het onderhoud van Stuw Lith heroverwogen – met beschouwing van de achtergronden van de recente calamiteit. Dit kan leiden tot een aanpassing van dat contract of tot een andere verdeling van de onderhoudstaken.
- Enige mate van persoonlijke toezicht op het functioneren van de (componenten van de) stuw herstellen. Dit zou op zijn minst ertoe moeten leiden dat de reden van elke storing wordt vastgesteld voordat de desbetreffende handeling wordt voortgezet.
- Meer verantwoordelijkheden (dus ook zeggenschap) m.b.t. het onderhoud bij eigen mensen leggen, zodat het gevoel van “mijn stuw” wordt hersteld. Dat gevoel is nu niet sterk.
- Het toezicht met camera's verbeteren zodat het personeel de manipulaties op het scherm kan volgen en mogelijke scheefloop e.d. kan signaleren. Het betere cameratoezicht mag echter geen aanleiding zijn om nog minder persoonlijk toezicht uit te oefenen.
- Een rustpauze inlassen in reorganisaties, personele veranderingen enz. Het stuwpersoneel en de betrokken diensten de kans geven om het object en elkaar beter te leren kennen – en beter op elkaar ingespeeld te raken.

In de sfeer van de techniek:

- De oorspronkelijke frequentie en methode van de smering van de kettingen acuut herstellen. Optie: Door bijv. TNO het optimale smeringssysteem laten bepalen. Toestand van de kettingen (o.a. strak of geknikt) regelmatig inspecteren.
- Alle kettingpennen aan klephefbomen vervangen om het risico van scheuren en brosse breuk weg te nemen. Bij vervanging de huidige materiaalkwaliteiten toepassen (niet lager dan in Tabel 1).
- Op langer termijn de bestaande kettingen (Fig. 16) onderhoudsvrij of onderhoudsarm laten maken of (indien onmogelijk of te duur) door onderhoudsvrije of –arme kettingen laten vervangen.
- Een automatisch smeersysteem van de kettingen toepassen. Deze optie lijkt echter alleen zinvol indien er nieuwe kettingen worden geïnstalleerd. Bij de bestaande kettingen kan dan olie of vet in het water terechtkomen.

-
- Eventueel overgaan naar een ander type krachtsoverbrenging dan kettingen, bijv. lierwerken.
 - Loskoppelen van de schuif- en klepmanipulatie (nu met dezelfde kettingen en bewegingswerken). Voordeel: Meer vrijheid bij herstellen van storingen. Nadeel: Het originele, robuuste systeem wordt complex (mede door extra voorzieningen om ongewenste standen te voorkomen), waardoor de faalkans toeneemt.
 - Nagaan of de vrijloop van alle bewegende delen (vooral kettingen maar ook bijv. wagens) overal en in alle standen is verzekerd. Zonodig verbeteringen aanbrengen.
 - De logging van gegevens verbeteren, zodat bijv. de gegevens over storingen niet kunnen worden uitgewist. Op dit moment gebeurt dat te makkelijk, waardoor de diagnostiek wordt bemoeilijkt.
 - Voordat de oorzaak van een storing is vastgesteld, moet het niet mogelijk zijn om het besturingssysteem te “resetten” met als doel de door deze storing onderbroken handeling voort te zetten.
 - Zoals eerder vermeld, het toezicht via camera's verbeteren, zonder dat dit tot nog minder persoonlijk toezicht leidt. Let op: Meer camera's en monitoren verspreiden de aandacht. Meer interactieve mogelijkheden overwegen (inzoomen, beweging e.d.).

De bovenstaande maatregelen zijn op dit moment genoemd los van elkaar, zonder dat er naar de samenhang is gekeken. Wanneer men bijv. voor meer persoonlijk toezicht kiest, zal het verbeteren van het cameratoezicht minder nodig zijn. Een keuze voor onderhoudsvrije kettingen maakt het smeren ervan overbodig (zelfs verboden). Bij de definitieve besluitvorming dient deze samenhang uiteraard te worden beschouwd.

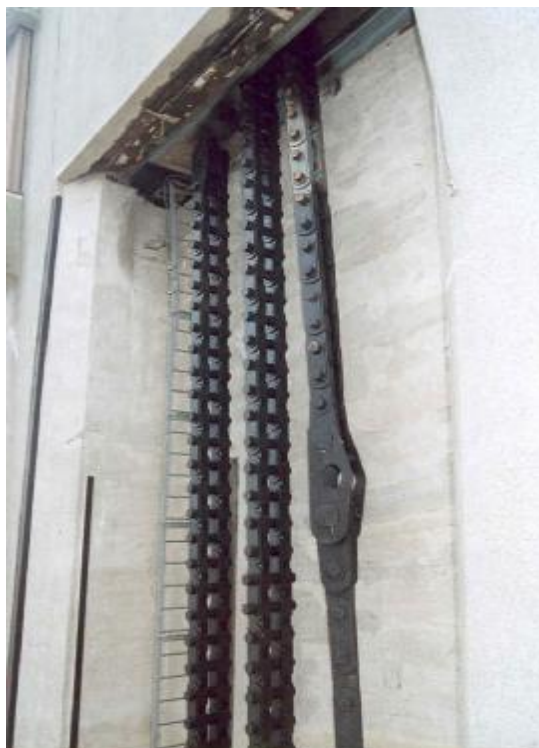


Fig. 16. Kettingen van Stuw Lith

6 GEVOLGTREKKING IN RUIMER VERBAND

6.1 Hoofdoorzaak en medeorzaken calamiteit

De directe aanleiding tot de opgetreden schade was – zoals gesteld in 5.3 – de stootbelasting als gevolg van de val van de bovenklep. De gegevens over de volgorde van de gebeurtenissen zijn van het systeem gewist. Het is dus niet mogelijk om deze volgorde met alle zekerheid te reconstrueren. Het meest waarschijnlijke scenario is als volgt:

1. Het bedieningspersoneel van de stuw probeert op vrijdag 26 januari de klep van de schuif Zuid op te trekken, waarschijnlijk om de stuwpeil te corrigeren. Het water heeft namelijk hoog gestaan in de periode daarvoor; en begint nu te zakken. Bij de aanvang van deze handeling stroomt nog een dikke straal water over de bovenrand, dus de belasting op de kettingen is groot.
2. Het optrekken van de klep gaat niet vlot. Het systeem signaleert een storing. Omdat dit al vaker is voorgekomen en de belastingen – zoals gezegd – zwaar zijn, beschouwt het personeel het niet als bedreigend. Er wordt op de reset-knoop gedrukt en het optrekken wordt voortgezet. Dit gebeurt mogelijk enkele keren.
3. Wat men in de eerste instantie niet ziet, is dat de ketting op de zuidelijke heftoren waarschijnlijk is vastgelopen, mogelijk als gevolg van inwendige wrijving en geknikte stand (voorbeeld in Fig. 15). Een deel van de ketting schiet nu los en de vrijgekomen kettinglengte valt door de geleiderails (schade op Fig. 17). Aan het einde van de val is de stootkracht zo groot dat de kettingen en de klep hefboom aan de zuidzijde breken.



Fig. 17. Lichte schade aan geleiderails

4. Naar verluid (zie inspectierapport van Klein Mechaniek van april 2007) ziet men dat later wel. Om het risico van verdere schade te beperken zetten dan 2 medewerkers van RWS (A. de Koster en V. van Loenen) de klep in zijn laagste stand (+078 m NAP).

-
5. De klep ligt nu over de hele lengte beneden op de hefschuif, wat later wordt bevestigd door de afdrucken van de klinknagels op de constructie (zie inspectierapport Klein Mechaniek van april 2007). Er stroomt een grote hoeveelheid water over de schuif. De schade is op dat moment nog onbekend. De situatie kan als onbeheerst worden beschreven.
 6. Om de schade op te nemen, probeert de aannemer de volgende dagen (zaterdag 27 en zondag 28 januari) het bovenste deel van de hefschuif uit het water te halen. Het losse stuk ketting (van de gebroken pen) is dan helaas niet gezekerd. Dit stuk komt tussen de wielstellen terecht en – bij het weer laten zakken van de schuif – tordeert en komt vast te zitten.
 7. Door de verdraaiing van de ketting loopt deze weer vast boven in het machinewerk. De aannemer probeert dan met snijbranders de ketting los te krijgen. Dit lukt niet en leidt – helaas – tot nog meer schade, ook aan het machinewerk. De schuif zit klem in de positie ca. 1 m boven de drempel (visuele inschatting), waardoor het water zowel beneden als boven de schuif doorstroomt.
 8. In de komende dagen wordt de situatie stapsgewijs weer onder controle gebracht, zie beschrijving in sectie 3.2 van deze notitie. Op dinsdag 30 januari lukt het om de schuif weer op de bodem te zetten; en in dezelfde week wordt de kerende functie hersteld door de klep in een opgetrokken positie te fixeren.

Een onzeker element in deze beschrijving is het moment en de reden van het vallen van de bovenklep (punt 3). Het toeschrijven van dat vallen aan het vastlopen van de ketting (dat op zich wel plaatsvond) is enigszins hypothetisch.

In dit scenario is de breuk van de kettingpen het gevolg van de val van de bovenklep. Het valt echter niet volledig uit te sluiten dat de breuk van deze pen een moment eerder had plaatsgevonden – en zo de oorzaak van de val was geweest, niet het gevolg. Hierdoor zou het vallen van de klep makkelijker te verklaren zijn. Toch zijn er minstens twee factoren die deze mogelijkheid tegen lijken te spreken:

- De overtuiging van het betrokken personeel van de stuw. Al kan dat personeel geen reden noemen voor het vallen van de klep, toch moet deze overtuiging niet worden onderschat gezien de objectkennis en ervaring van deze mensen;
- Het feit dat naast de pen ook de klep hefboom (gietstuk) in stukken uiteen is gevallen (Fig. 18 a). Dit gietstuk kon moeilijk een andere klap hebben gekregen dan via de pen of de aanslagnok (rechts in Fig. 11). Een klap op de aanslagnok veroorzaakt logischerwijze de breuk zoals op de noordzijde (Fig. 18 b), al kunnen andere breuken niet volledig worden uitgesloten.

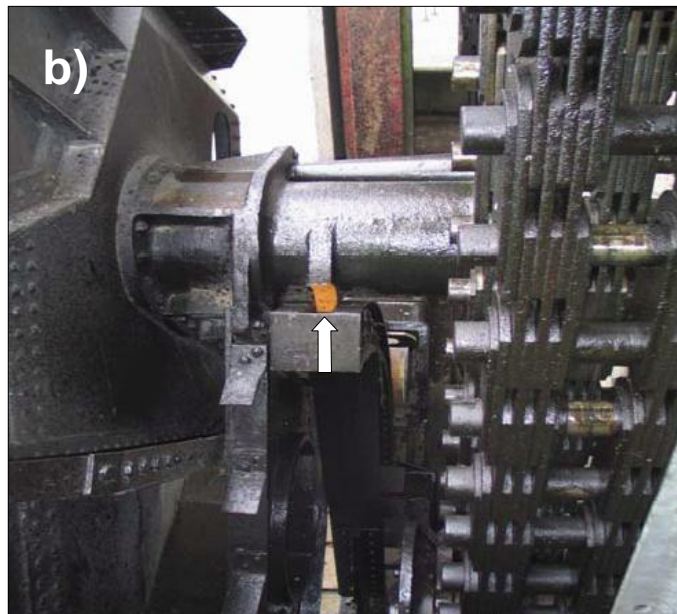
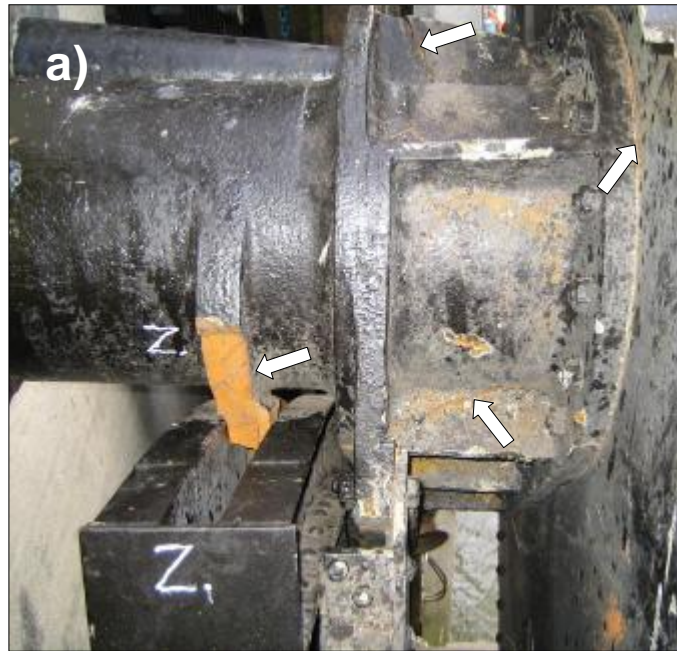


Fig. 18. Materiaalbreuken aan aanslagnokken van klephebboomen:
a) Zuidzijde, meerdere breukvlakken;
b) Noordzijde, één enkel breukvlak.

6.2 Belang van gevolgtrekking in ruimer verband

In aanvulling op de aanbevelingen, zoals vermeld in sectie 5.3 van deze notitie, kunnen ook in ruimer verband conclusies uit de calamiteit van januari 2007 worden getrokken. Dit geldt zowel voor de Stuw Lith als voor andere vergelijkbare objecten, met name de waterbouwkundige staalconstructies uit de jaren 1930. Deze gevolgtrekking is des te meer interessant dat de jaren 1930 een piekperiode in de Nederlandse waterbouw zijn geweest. Dit geldt niet alleen voor Limburg (o.a. Julianakanaal, sluisen in Maasbracht, Roosteren, Born, Limmel) maar ook voor de rest van het land. Wanneer men alleen naar de bouw van de grote (schut-, keer-, uitwaterings- e.d.) sluisen kijkt, dan blijkt dat 32% van de huidige Nederlandse sluisen in de periode 1925-1940 zijn gebouwd, zie Fig. 19. Een vergelijkbare situatie treedt op in de bouw van stuwen, gemalen e.a. waterbouwkundige werken.

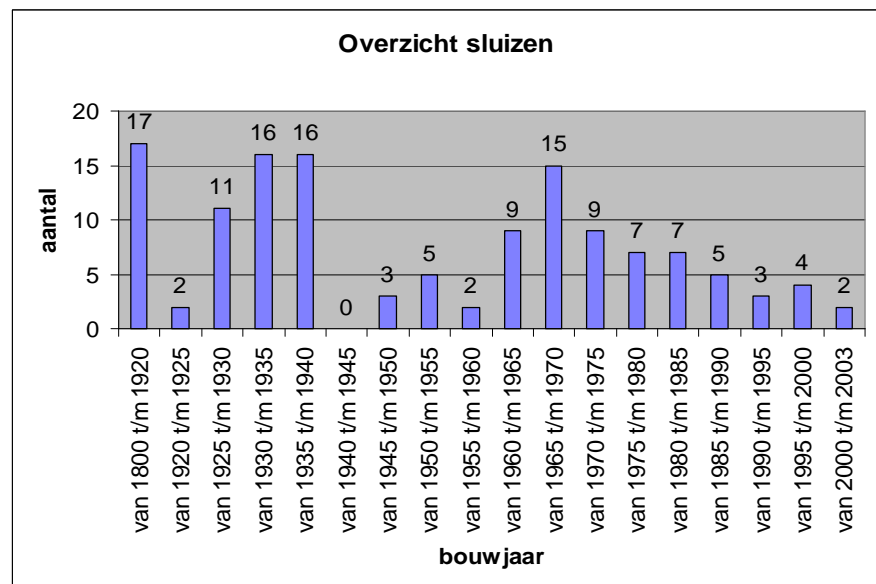


Fig. 19. Bouw van sluisen in Nederland in verschillende perioden

In enkele van deze objecten zijn de waterkerende staalconstructies inmiddels vervangen, sommige zijn buiten bedrijf gesteld of gesloopt (bijv. Sluis Roosteren), maar het overgrote deel ervan functioneert nog steeds. Men dient zich te realiseren dat de ontwerplevensduur van zulke staalconstructies tussen de 50 en 80 jaar ligt. Al deze constructies benaderen dus nu het einde van hun ontwerplevensduur. Al blijkt uit de praktijk dat ze in een aantal gevallen nog jarenlang mee kunnen gaan, zullen ze in de komende jaren voor steeds meer onderhoudsproblemen zorgen. Het is dus uiterst belangrijk dat de onderhoudsproblematiek voldoende gewicht krijgt in het beleid en in de budgetten van de beheerders van deze objecten.

6.3 Gevolgtrekking voor Stuw Lith en andere objecten

De gevolgtrekking in ruimer verband zal bij Rijkswaterstaat Limburg naast de Stuw Lith voornamelijk betrekking hebben op de volgende objecten (volgorde willekeurig):

- Stuw Borgharen – ook hefschuiven met bovenkleppen, nog ouder dan Stuw Lith (Fig. 20);
- Stuwen Grave, Sambeek, Belfeld, Roermond en Linne – andere typen hefschuiven maar met vergelijkbare onderdelen, meeste nog ouder dan Stuw Lith;
- Oude sluisen in de hierboven genoemde complexen;
- Oude sluisen in St. Andries, Weurt, Limmel, Born en Bosscherveld – voor zover oude deuren niet zijn of worden afgedankt.



Fig. 20. Stuw Borgharen

De staalkwaliteiten, detailoplossingen, huidige condities, behoeften aan onderhoud, veiligheidsmarges e.d. voor al deze objecten zijn voor een groot deel vergelijkbaar met of dezelfde als op Stuw Lith. De conclusies die voor deze stuwen en sluisen uit de calamiteit in Lith kunnen worden getrokken, zijn dus grotendeels ook dezelfde. In het bijzonder blijven de aandachtspunten en de aanbevelingen van deze notitie (zie secties 5.4 en 5.5) van betekenis voor deze objecten.

Deze aanbevelingen zullen dus hier niet worden herhaald. Hieronder volgen enkele aanvullende conclusies en aanbevelingen voor deze hele groep objecten tezamen:

- Het is belangrijk dat Rijkswaterstaat Limburg (ondersteund door Rijkswaterstaat Bouwdienst) de kennis over de oude materialen, constructiesystemen in waterbouw e.d. blijft houden. Daarnaast is het aan te bevelen om de kennis over verouderings- vermoeiings- en andere tijdgebonden processen die bij deze constructies een rol spelen, te ontwikkelen.
- In de komende jaren zal Rijkswaterstaat Limburg geconfronteerd worden met een verhoogde behoefte aan onderhoud van objecten. Deze behoefte zal zich niet alleen in budgettaire zin manifesteren (door toename van de hoeveelheid onderhoud), maar ook in de kwalitatieve zin. Vanwege de hoge leeftijd van objecten zullen er andere problemen spelen dan met de huidige techniek. De markt is niet meer ingespeeld op deze problemen, zodat er ook met minder kennis, keuze en langere levertijden moet worden gerekend.
- Een bijkomend probleem is dat de oude objecten niet ontworpen zijn op de huidige milieueisen. Zij laten zich ook moeilijk aan deze eisen aanpassen. Rijkswaterstaat zal dus andere manieren van onderhoud aan deze objecten moeten ontwikkelen, bijvoorbeeld om geen smeermiddelen in het oppervlaktewater te laten komen.
- Er lijkt in Limburg (en in sommige andere regio's) een strategische keuze te zijn genomen voor een vergaande uitbesteding van alle onderhoudswerkzaamheden, bijv. in de zgn. "prestatiecontracten". Dit beleid ligt in lijn met de politieke koers, maar het vergroot de afstand tussen het eigen personeel en de beheerde objecten. Dit helpt niet om de kennis en de emotionele betrokkenheid van het personeel bij deze objecten te behouden
- De huidige staalconstructies van de oude waterkerende werken hebben wel hun eigenaardigheden maar vervullen – mits correct onderhouden en bediend – nog steeds hun functies. De calamiteit op Stuw Lith moet niet worden gezien als gebrek of een signaal van onbetrouwbaarheid van deze constructies.
- Op lange termijn zal Rijkswaterstaat Limburg tot vervanging van een aantal waterkerende staalconstructies moeten overgaan. Deze conclusie is niet nieuw, er zijn in recent verleden diverse studies in deze richting verricht (o.a. door de Bouwdienst). De calamiteit op Stuw Lith onderstreept alleen deze conclusie.
- Het inzetten van de noodkering verliep op Stuw Lith omslachtig en niet zonder gevaar voor mensenlevens. De maatschappij zal dit in de toekomst niet accepteren. Het lijkt goed om een noodkering te ontwikkelen die ook in moeilijke omstandigheden en zonder ongewenste ARBO-situaties de opening laat sluiten.

7 EINDADVIES

De slotconclusie en het eindadvies van dit rapport luiden als volgt:

De calamiteit op de zuidenopening van Stuw Lith van eind januari 2007 heeft een aanzienlijke schade opgeleverd. Terwijl de schade voor de scheepvaart en het waterbeheer in de regio nauwelijks merkbaar was, zal het herstel van de volledige functionaliteit van de stuw aanzienlijke kosten met zich meebrengen. Deze calamiteit en de daarop volgende acties hebben echter ook kennis opgeleverd die voor verder beheer van de stuw van pas zal komen.

Één van de terreinen waar sprake van nieuw verworven kennis kan zijn, is de materiaalkwaliteit en de lastdragende capaciteiten van de oude constructiedelen – in het bijzonder de delen die tijdens de calamiteit zijn bezweken. Deze notitie geeft verslag van het onderzoek dat op dit terrein is verricht. De algemene conclusie van dit onderzoek is dat de bestaande staalconstructie van de stuw nog steeds als voldoende sterk en betrouwbaar mag worden gezien. Dit neemt niet weg dat men deze constructie meer adequaat, met meer zorg en kennis hoort te bedienen en onderhouden dan in de periode voor de bewuste calamiteit.

De aanbevelingen in deze richting zijn verwoord in sectie 5.5 van dit rapport. Daarnaast blijkt de gevolgtrekking van de calamiteit op Stuw Lith ook van belang te zijn voor andere stuwen en sluizen in beheer van Rijkswaterstaat Limburg. Dit volgt o.a. uit het feit dat er in de regio meer objecten uit dezelfde bouwperiode bestaan. Hoofdstuk 6 bevat dus conclusies en adviezen in ruimer verband.

8 EVALUATIE VAN HET ONDERZOEK

Het onderzoek kan in twee vlakken worden geëvalueerd:

1. Evaluatie van het materiaalonderzoek door TNO Industrie en Techniek in Eindhoven
2. Evaluatie van het opstarten, begeleiden en afronden van het TNO-onderzoek door de Bouwdienst

Vlak 1:

Het onderzoek door TNO verliep in het algemeen naar tevredenheid en heeft een gewenst resultaat opgeleverd. De communicatie tussen de onderzoeksleider van de Bouwdienst (dr. ir. R.A. Daniël) en de directe uitvoerder van het onderzoek bij TNO (ir. H.A.M. van Stiphout) was zeer goed. Alle betreffende wensen van Rijkswaterstaat zijn in de loop van het onderzoek gehonoreerd. Alle in het onderzoeksopdracht opgenomen vragen zijn – voor zover mogelijk – beantwoord.

Moeilijk te beantwoorden bleek de vraag over de volgorde van de materiaalbreuken. De reden hiervoor is dat de meeste gegevens over de opgetreden storingen gewist waren doordat er meerdere keren op de “reset-knoop” in het besturingsysteem is gedrukt. Dit was onbekend bij het verstrekken van de opdracht. Op verzoek van Rijkswaterstaat geeft het TNO-rapport echter een vermoedelijke volgorde aan.

Vlak 2:

De organisatie, begeleiding en afronding van het onderzoek door de Bouwdienst verliepen naar tevredenheid. Voorafgaand aan de opdracht is door de onderzoeksleider van de Bouwdienst goed geluisterd naar de wensen van Rijkswaterstaat Limburg. Een combinatie van dat luisteren en zijn eigen expertise resulteerde in een goed geformuleerde opdracht richting TNO en een goede sturing in de loop van het onderzoek.

Ondanks de gevoeligheden die bij dit soort calamiteiten meestal een rol spelen, is er een sfeer van vertrouwen ontstaan die tot de reconstructie van de feiten heeft bijgedragen. De conclusies van de voorliggende slotnotitie zijn ook met begrip ontvangen door de betrokken collega's van Rijkswaterstaat Limburg.