



Een duurzaamheidsmodel van biotechnische constructies

ZBIGNIEW KLEDYNSKI, INSTITUUT VAN WATERVOORZIENING EN WATERBOUWKUNDE, TU WARSCHAU

PIOTR KUZNIAR, INSTITUUT VAN WATERVOORZIENING EN WATERBOUWKUNDE, TU WARSCHAU

In dit artikel worden de begrippen veiligheid, betrouwbaarheid en duurzaamheid van een constructie bediscussieerd. Aan bod komen de specifieke problemen van duurzaamheid van hydrotechnische constructies met toepassing van planten: biotechnische constructies. De auteurs presenteren een duurzaamheidsmodel van een bouwobject uitgevoerd met traditionele materialen en één van een biotechnisch object. Voor de analyse van de economische en ecologische alsmede de duurzaamheidsaspecten van beide varianten is als voorbeeld een oeververdediging van een waterreservoir gebruikt.

Hydrotechnische constructies worden hoofdzakelijk gebouwd van traditionele materialen zoals hout, beton, staal en bitumen. Het gebruik van kunststoffen (geomembranen, harsbeton) neemt echter toe, evenals, uit ecologische overwegingen, levende planten. Deze materialen hebben bepaalde bouwkundige en gebruikseigenschappen en verschillen in weerstand tegen veroudering en allerlei beïnvloedingen vanuit de omgeving. Duurzaamheid van een constructie hangt af van haar oorspronkelijke toestand en van tijdsafhankelijke processen.

Bij toepassing van levende planten in constructies wordt de duurzaamheid bepaald door de biotechnische conditie van de gebruikte planten en door de duurzaamheid en stabiliteit van de ontworpen ecosystemen. Biotechnische constructies onderscheiden zich van traditionele door een aantal eigenschappen, onder meer op het gebied van duurzaamheid.

In dit artikel wordt tegen de achtergrond van een typisch duurzaamheidsmodel van een traditionele constructie een voorstel voor een eigen model van een biotechnische constructie gepresenteerd. Van beiden wordt een voorbeeld gegeven, waarbij de aandacht zich richt op zowel duurzaamheids- en ecologische aspecten als op de economische consequenties.

Veiligheid - betrouwbaarheid - duurzaamheid

Veiligheid is ongetwijfeld historisch het eerste van deze begrippen, gezien als het 'surplus' van draagvermogen boven de maximale belasting. Het begrip veiligheid is fundamen-

teel voor de beoordeling van de toestand van waterkerende constructies. Later kwam het onderscheid tussen veiligheid en gebruiksgeschiktheid: een object dat geen risico van beschadiging loopt kan toch nutteloos zijn als gevolg van bijvoorbeeld te grote vervormingen, krasvorming en verlies aan massa door corrosie. Als voorbeeld kan een lozingsconstructie van een waterreservoir dienen, waarvan het falen, wat niet noodzakelijk vernietiging hoeft te zijn, de veiligheid van het gehele object kan bedreigen. Een voorbeeld hiervan vormt het overstromen van een dijk in 2001 bij het stuwmeer Wióry in Polen.

In het kader van de samenwerking tussen de NVA en haar zusterorganisatie in Polen is onder meer afgesproken elkaars artikelen te publiceren in de eigen tijdschriften. Bijgaand artikel is vertaald door Aleksandra Jaskula-Joustra.

Betrouwbaarheid heeft betrekking op beide soorten eisen (veiligheid én gebruik). De kennis over de toestand van een object op een bepaald moment (draagvermogen en belastingen) maakt het mogelijk om zijn betrouwbaarheid op dat moment te beoordelen. De factor tijd én tijdsafhankelijke processen zijn belangrijke onderdelen van die beoordeling. Bij betrouwbaarheid gaat het vaak over kansen die worden ingeschat voor een bepaalde gebruiksduur. Bij duurzaamheid spitst de aandacht zich toe op het bepalen van die tijd (daarbij ook gebruik makend van de probabiliteitsbenadering).

Andere verschillen tussen betrouwbaarheid en duurzaamheid hebben te maken met de hoeveelheid meegenomen beïnvloedingen. In het geval van betrouwbaarheid zijn dat alle factoren, zelfs die met een zeer kleine kans van voorkomen, alsook hun combinaties (ook het gedrag van de gebruiker). Bij duurzaamheid daarentegen gaat het om tamelijk constante milieubeïnvloedingen en veroudering, dus processen die afhankelijk zijn van de levensduur van het object.

Duurzaamheidsmodellen Van een traditionele constructie

Het standaard duurzaamheidsmodel van een constructie uitgevoerd met traditionele

Biotechnische bescherming van de dijktaluds: groeifase.



materialen wordt veelal voorgesteld zoals afbeelding 1 toont. In het begin heeft een object het hoogste niveau van gebruikseigenschappen. In de loop der tijd daalt dit (neergaande stippellijn) en wanneer het moment van het bereiken van het minimaal toelaatbare niveau nadert, wordt onderhoud bepleit, dat de oorspronkelijke kenmerken zal moeten herstellen (verticale stippellijn). Het zou uiteraard kunnen vóórkomen, dat deze kenmerken hierdoor belangrijker zouden worden dan de oorspronkelijke, maar meestal zal, ondanks opeenvolgende onderhoudsbeurten, de waarde van het object geleidelijk dalen (dikke neergaande lijn). Wanneer een volgend onderhoud niet meer lonend is, wordt het gebruik beëindigd en het object gesloopt of verlaten.

Van een biotechnische constructie

In geval van biotechnische constructies in beken, rivieren of taluds voldoet het zojuist beschreven model niet. Dat komt door het toepassen van levende organismen (verschillende soorten planten). Voorbeelden van zulke constructies zijn beplante vooroevers of versteviging van oevers of taluds door planten. Het duurzaamheidsmodel van een biotechnische constructie moet twee fasen bevatten, namelijk de initiële en de rijpheidsfase. In de eerste fase zijn planten aan het groeien en krijgen ze hun volledige biotechnische kenmerken; in de tweede fase kunnen ze, afhankelijk van het ecosysteem, praktisch onbeperkt blijven. Indien een ontworpen constructie slechts in een tussenstadium van ontwikkeling van de toegepaste planten bruikbaar is, wordt periodiek onderhoud noodzakelijk.

Het duurzaamheidsmodel dat de hier genoemde eigenschappen omvat, is te zien in afbeelding 2. De dikgetrokken lijn geeft de verandering van de gebruikswaarde van een biotechnische constructie weer, die in een tussenstadium verkeert (bijvoorbeeld in de vorm van struiken en jonge bomen). Elke biotechnische constructie moet eerst de initiële fase doorlopen, waarin na het aanleggen planten zich moeten ontwikkelen, wortelen en een biotech-



Biotechnische bescherming type A: rijpheidsfase (waterkant).

nische waarde krijgen. Deze fase wordt meestal afgesloten met onderhoud. Omdat het gebruikte ecosysteem betrekking heeft op een bepaalde ontwikkelingsfase, leiden een bovenmatige groei van de planten en het bereiken van een natuurlijke biologische evenwichtstoestand tot een afname van de gebruikswaarde van de constructie. Een periodiek onderhoud wordt onontbeerlijk voor het herstellen van de gewenste toestand, hoe onstabiel vanuit de natuur dan ook. Het signaal voor het plegen van onderhoud is het bereiken van het minimale toegestane niveau van de gebruikseigenschappen.

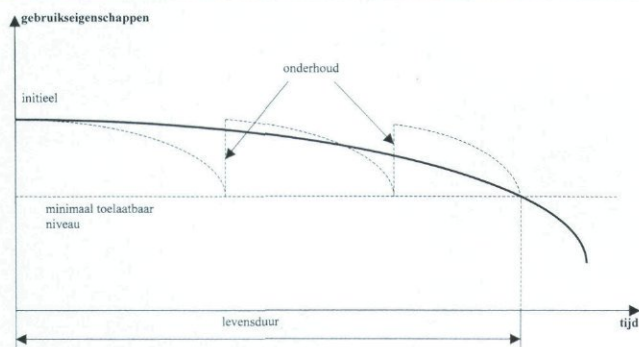
De verlenging van de dikgetrokken lijn met een stippellijn heeft betrekking op een biotechnische constructie die gebruik maakt van een ecosysteem in het climaxstadium, bijvoorbeeld ooibos in het winterbed als een soort stroomlijn voor de afvoer van hoogwater. Indien een biotechnische constructie uit een voor een bepaalde locatie natuurlijk ecosysteem bestaat, heeft ze in principe in haar volwassenheidsfase helemaal geen onderhoud

nodig, hooguit als gevolg van een bijzondere gebeurtenis.

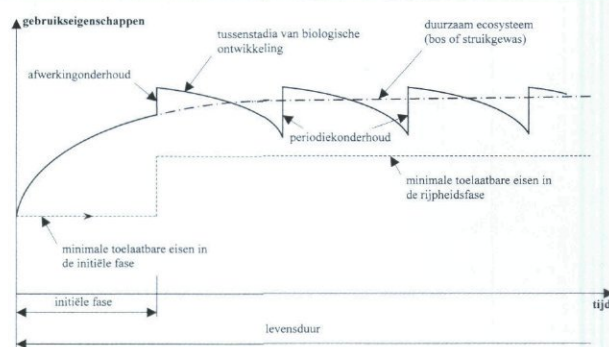
Vergelijking

Het stuwmeer Debem op de Narew (zijrivier van de Wisla (Weichsel)) is in 1963 in gebruik genomen. Het reservoir is multifunctioneel en wordt gebruikt voor energieopwekking, scheepvaart, landbouw, recreatie en de watervoorziening van Warschau. Het normale peil is hier 79.02 m boven de zeespiegel en het minimale 78.52 m. De rechterkant wordt gevormd door de meestal hoge oever van de vallei van de Narew, maar voor het beschermen van de laaggelegen gebieden aan de linkerkant (73.00 à 79.00 m boven de zeespiegel) zijn hier dijken aangelegd. De oevers in de golfzone worden beschermd door 10 à 12 cm dikke platen uit gewapend beton in het werk gemaakt met dilatatie om de 2 à 3 m. De taluds boven de platen worden beschermd door graszoden. Plaatselijk worden geprefabriceerde platen of tegels toegepast (om de stijghoogte van golven te verminderen) en korte trajecten die sterk blootgesteld staan aan de golfkrachten

Afb. 1: Duurzaamheidsmodel van een traditionele constructie.



Afb. 2: Duurzaamheidsmodel van een biotechnische constructie.



worden verdedigd door zinkstukken van rijshout en breuksteen of zetwerk. Trajecten met weinig opstuwing of waar water slechts tijdelijk aanwezig is, zijn onverdedigd.

Duurzaamheidsaspecten

Na circa 20 jaar van exploitatie van het meer zijn duidelijke beschadigingen aan de betonnen platen ontstaan. De oorzaak hiervan was een slechte kwaliteit van beton en een verkeerd ontwerp van dilatatie tussen de platen. Een grote porositeit van beton blootgesteld aan negatieve temperaturen heeft, met name in de zone van schommelende waterstanden, afkalving veroorzaakt op de oppervlakte en op de randen van de platen met een neiging tot barsten en breken. Ook de bitumen vulling van de dilatatiespleten is kapot gegaan door ijsvorming. Deze beschadigingen maken het wegspoelen van het materiaal onder de platen mogelijk, waardoor een groot deel ervan verzakte en de zandconstructie van de dijk onbedekt werd en blootgesteld aan verdere erosie. De duurzaamheid van betonnen bescherming bleek minder dan verondersteld, hoewel zij in het begin goed gefunctioneerd heeft. De pogingen om dilataties te herstellen en het materiaal onder de platen aan te vullen, bleken weinig effectief en van korte duur. Een gedetailleerde inspectie van de toestand van de dijk en de inventarisatie van de beschadiging van de waterkant toonde aan, dat die over een lengte van 12 km onveilig is. Dat maakt 20 procent uit van de totale lengte van de 58 km aan dijken rond het meer.

De resultaten komen overeen met die van andere onderzoeken. Een inspectie van ruim 350 betonnen platen over een lengte van een paar honderd meter van een oeververdediging van het reservoir Sulejów in de rivier Pilica heeft aangetoond, dat na 20 jaar van exploitatie bijna de helft ervan één of ander soort beschadiging vertoonde en circa een vijfde aan vervanging toe was.

De betonnen verdediging van het derivatiekanaal van de waterkrachtcentrale Dychów werd na 60 jaar van gebruik over aanzienlijke

trajecten vervangen, maar een groot deel van de platen werd reeds na 45 jaar van exploitatie vernieuwd. Deze naar verhouding goede duurzaamheidstoestand wordt veroorzaakt door iets minder zware belastingen.

De gegeven voorbeelden laten zien, dat betonnen verdedigingen in staat zijn, afhankelijk van de omstandigheden van de exploitatie, het een paar decennia vol te houden, maar op een bepaald moment wordt de beheerder geconfronteerd met de noodzaak tot een grondig onderhoud of zelfs vervanging. Voor dit soort werkzaamheden is de verlaging van het stuwingniveau onontbeerlijk, wat veelal zeer moeilijk voor elkaar te krijgen is. Als gevolg hiervan wordt het onderhoud vaak uitgesteld (wat de omvang vergroot), uitgevoerd op ad hoc basis wanneer zich toevallig kansen voordoen toegang tot de verdedigingen te krijgen, of er worden oplossingen gezocht die niet de uitschakeling van het object van exploitatie vereisen, maar die zijn meestal zeer kostbaar.

Technische en economische aspecten

Gezien de beschreven resultaten is bij de Regionale Directie van Waterhuishouding in Warschau het idee ontstaan om de dijken van het Zegrzynski meer te verdedigen door het aanbrengen van een zandbank aan de waterkant en die met planten te verstevigen (afbeelding 3). Twee soorten verdediging werden toegepast: een met jonge schietwilgen beplante vooroever en een vooroever met zinkstukken, wilgenvlechtwerk of stortsteen. De laatste wordt toegepast op trajecten, die blootstaan aan sterkere golven. Daarnaast zijn voor de keuze van het verdedigingstype maatgevend de richting van de constructie ten opzichte van de dominerende windrichting, de aanlooplengte van de golven en de beïnvloeding door de waterstroming.

De eerste fase van het renaturalisatieproject is gerealiseerd in 1983. De twee jaar durende monitoring bevestigde de grote effectiviteit van deze oplossing, waarna vanaf 1986 begonnen is met de werkzaamheden op andere tra-

jecten, waarvan het tempo afhankelijk was van de beschikbare financiële middelen. In totaal zijn tussen 1983 en 1997 versterkingen aangebracht op zeven dijktrajecten over een totale lengte van bijna 20 kilometer. Hiervoor is circa 675 duizend kubieke meter zand gebruikt. De totale oppervlakte van de kunstmatige oever bedraagt 38 ha. Verdere werkzaamheden zijn gepland over een lengte van 9 km en een oppervlakte van 18 ha.

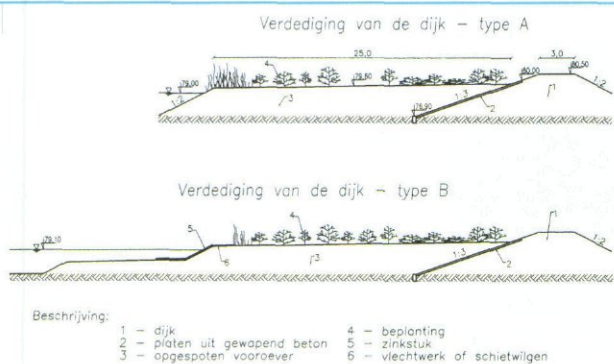
De toegepaste oplossing heeft de volgende technische voordelen:

- De mogelijkheid tot het winnen van materiaal (zand) vanuit de bodem, waardoor het volume van het reservoir niet afneemt;
- Voldoende mate van verdichting van de opgespoten zandbank en de zijn natuurlijke helling van het talud, waarop de kracht van de golven wordt gebroken;
- Weerstand tegen atmosferische invloeden;
- Planten die op de constructie groeien, worden verjongd door periodieke snoeiing en het vrijkomend materiaal wordt toegepast in hydrotechnische werken;
- Flexibiliteit bij de keuze van de doorsnede.

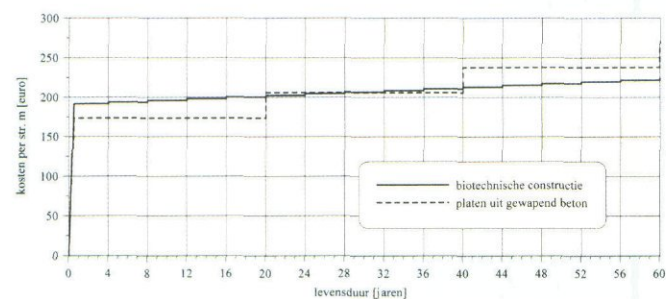
Tot de economische voordelen kunnen gerekend worden:

- gemakkelijk, en dus ook goedkoop, ontwerpen en toezicht uitoefenen op de aanlegwerkzaamheden;
- gebruik van slechts één baggermachine met een paar mensen;
- geen behoefte aan bouwmaterialen waarvan de productie veel energie vraagt en hieraan gekoppeld aanschaf-, transport-, opslag- en aanlegkosten alsook de kosten van het instandhouden van het bouwterrein, materieel en vaste bediening;
- het uitvoeren van een deel van de werkzaamheden met eigen middelen van de investeerder (voorbereiden en planten van schietwilgen); het periodieke snoeien om de drie tot vier jaar wordt daarentegen uitgevoerd door aannemers, die op deze manier waardevol materiaal, rijshout, verkrijgen.

Afb. 3: Biotechnische verdediging van een oever.



Afb. 4: Vergelijking van aanleg- en onderhoudskosten van een betonnen en van een biotechnische oeververdediging.



Afbeelding 4 geeft een overzicht van aanleg- en onderhoudskosten van zowel een betonnen als een biotechnische verdediging. Dat zijn vaste kosten op het huidige prijsniveau per strekkende kilometer. Uit de grafieken blijkt, dat de aanlegkosten in principe vergelijkbaar zijn, want de iets hogere kosten van de biotechnische verdediging zouden gemakkelijk gereduceerd kunnen worden door de dwarsdoorsnede van de zandbank iets kleiner te maken. Verantwoord kan echter ook de iets duurder (en duurzamere) variant van de betonnen constructie zijn. Hierbij is er vanuit gegaan, dat het onderhoud van de beplanting om de vier jaar moet plaatsvinden (verticale gedeelten op de getrokken lijn) en dat het onderhoud van de betonnen verdediging de vervanging van 20 procent van de platen één keer per 20 jaar inhoudt (verticale gedeelten op de stippellijn). Het eerste uitgangspunt volgt uit richtlijnen voor onderhoud van schietwilgen, het tweede uit de beoordelingsresultaten van bestaande constructies.

Bij de vergelijking van alleen maar onderhoudskosten komt de biotechnische constructie, ondanks de noodzaak tot periodiek onderhoud, voordeliger uit de bus dan de betonnen al na het eerste onderhoud van deze laatste (onderhoudskosten van de planten zijn na 20 jaar drie keer lager dan het vervangen van 20 procent van de betonnen platen). De onderhoudskosten van beide soorten verdediging zouden gelijk worden, indien de levensduur van de betonnen verdediging circa 300 jaar zou bedragen, wat betekent, dat de periodieke vervanging van een vijfde van de verdediging niet vaker dan eens per 60 jaar zou moeten plaatsvinden. Gezien de bestaande ervaringen lijkt dat niet realistisch.

Natuuraspecten

Een oever met een technische verdedigingsconstructie vormde (en vormt gedeeltelijk nog steeds) een aanzienlijk storend element in het landschap van de oeverzone. Bij sport en recreatie als hoofd functie van het reservoir maakt die het onmogelijk om volledig de natuurwaarden ervan te kunnen benutten. Daarnaast verhinderde een betonnen plaat de toegang tot het water vanaf het land en het aan wal gaan bracht het risico van een ongeval met zich mee. Het Zegrzynski meer wordt gekarakteriseerd door hoge en korte golfvorming, wat voor moeilijkheden bij onervaren watersporters zorgt. In geval van kapseizen van een zeilboot of een kano was aan land gaan over de steile en gladde betonnen platen vrijwel onmogelijk. Betonnen oevers waren meer dan eens de oorzaak van een schipbreuk of beschadiging van plezierboten tijdens hoge golven. Ook zijn dieren verdronken (huis- of in het wild levende dieren), die na



Biotechnische bescherming type B: rijpheidsfase (waterkant).

in het water te zijn gevallen er niet uit konden komen.

Het nieuwe type verdediging is uitgevoerd met natuurlijke materialen: zand en schietwilgen, die met hun wortelstelsels het zand vasthouden. De aarden vooroever met beplanting verbetert de esthetische en landschappelijke waarden van de constructie, geeft een goed leefmilieu voor vogels en andere dieren en zorgt voor het herstel van de natuurlijke ecologische corridor van de rivieren Narew en Bug. Vanuit de waterkant is de dijk open en ingepast in het groen waarmee het meer omringd is. De grijze band van beton verdwijnt helemaal en de oevers maken een natuurlijke indruk. Behalve de aangeplante schietwilgen wordt ook begroeiing door wilde planten waargenomen (els, berk, riet, bies).

Bekend zijn de reinigingseigenschappen van wortelstelsels van met name verschillende soorten wilgen. Het reeds beplanten van circa 38 ha oppervlakte met actieve wortelstelsels heeft zonder twijfel de kwaliteit van het water verbeterd, wat des te belangrijker is omdat het een reservoir van drinkwater voor de agglomeratie Warschau vormt (circa 300 duizend kubieke meter per etmaal). Zwerfvuil, dat nu gemakkelijk tussen de planten achterblijft, kan eventueel een probleem vormen.

De renovatie van de dijken van het Zegrzynski meer zorgde voor voldoende vesteviging van de bedreigde taluds. Enkele jaren ervaring met de exploitatie van deze verdediging bevestigde de effectiviteit en rentabiliteit van de biotechnische oplossing. Het valt te betreuren, dat de financiële mogelijkheden van de Regionale Directie van Waterhuishouding het onmogelijk

lijken maken de werkzaamheden voort te zetten om het meer volledig gelijk te maken aan een natuurlijk meer en tegelijkertijd de dijken beter te verdedigen. De gepresenteerde methode van renovatie van de oeververdediging zou toegepast moeten worden in vergelijkbare omstandigheden bij andere reservoirs. ☛

Foto's: Miroslaw Wedolowski