



*38 pav. Savaeigės priekabos CD60R ir CG150 gruntui iš pelkių transportuoti.*

Lietuvoje mechanizuotas vandens telkinių valymo būdas gali būti plačiai naudojamas. Svarbu tai, kad dirbant mechaninėmis priemonėmis, vandens telkinių valymo darbų sezonas gali būti žymiai ilgesnis, nei dirbant žemsiurbėmis. Kai kurie darbai gali būti vykdomi net žiemą.

### **3.3. IŠKASTO DUMBLO DŽIOVINIMAS, SANDĖLIAVIMAS IR NAUDOJIMAS**

Kita, nemažiau svarbi vandens telkinių valymo darbų dalis, yra iškasto dumblo sandėliavimas, džiovinimas ir paruošimas naudojimui. Dažniausiai žemsiurbė iškastas dumblas išpilamas į specialias sandėliavimo aikšteles (sėsdintuvus, aptvarus). Kai sėsdintuvams įrengti yra palankios sąlygos (išskirtame plote galimi buldozeriniai darbai įrengiant pylimus), buldozeriu iš vietinio grunto sustumdomi pylimai, sėsdintuvų dugnas padaromas horizontalus arba su nuolydžiu nuo dumblo išpylimo link nuskaidrėjusio vandens išleidimo. Pylimų aukštis priklauso nuo planuojamo supilti į sėsdintuvus sapropelio sluoksnio storio ( $h = 0,8 - 1,5$  m, 39 pav.).



*39 pav. Ant lauko įrengti grunto pylimų sėsdintuvai*

Kartais vietoj gruntinių pylimų gali būti įrengti polietilėninės plėvelės aptvarai (40 pav.). Išdžiūvus sapropeliui, aptvarai nuimami ir sapropelis paliekamas peršaldymui žiemą.



**40 pav. Dumblas supiltas į iš polietileninės plėvelės paruoštus aptvarus.**

Rekomenduojama įrengti bent 10 sėsdintuvų, kad būtų galima pulpą pilti nestorais sluoksniais. Sėsdintuvų plotis parenkamas toks, kad pulpos lyginamasis debitas  $q = 9 - 13 \text{ m}^3/\text{val}$  1m sėsdintuvo pločio. Tokiu būdu, sėsdintuvo plotis bus toks:

$$B = \frac{Q}{q}, m$$

čia:  $Q$  – žemsiurbės pulpos debitas, išpilant į sėsdintuvą,  $\text{m}^3/\text{val}$ ;

$q$  – lyginamasis debitas, kuriam esant gaunami reikiami pulpos liejimo technologiniai parametrai.  $q = 9 - 13 \text{ m}^3/\text{val}$  1 m.

Sėsdintuvų ilgis priimamas pagal tai, kad supilto į sėsdintuvą dumblo paviršius turi 0,001 – 0,018 (0,1 – 1,8 %) vidutinį nuolydį nuo pulpos išpylimo vietos link nuskaidrėjusio vandens išleidimo, esant optimaliam lyginamajam debitui  $q$ . Organinio dumblo paviršiaus nuolydis yra mažesnis, mineralinio ir kalkinio didesnis. Liejant sapropelį į horizontalaus dugno sėsdintuvą, sėsdintuvo maksimalus ilgis bus toks:

$$L = \frac{H_s - h_s}{i_s}, m$$

čia:  $H_s$  – planuojamas dumblo sluoksnio storis sėsdintuvo pradžioje, pulpos išpylimo vietoje m;

$h_s$  – planuojamas dumblo sluoksnio storis sėsdintuvo gale, prie vandens išleidimo m;

$i_s$  – dumblo paviršiaus nuolydis (organiniam dumblui – sapropeliui - 0,001 – 0,003, mineraliniam, kalkiniam - 0,008 – 0,018).

Rekomenduojama į sėsdintuvus pilti sapropelį ne didesniu kaip 1,0 m sluoksniu (dėl džiovinimo, peršaldymo). Tokiu atveju sėsdintuvų pylimų aukštis turi būti 1,2 – 1,3 m.

Atskirais atvejais į sėsdintuvus galima lieti dumblą ir didesniu nei 1,0 m gyliu. Tačiau būtina žinoti, kad kuo aukštesni sėsdintuvų pylimai, tuo jie užima daugiau naudingo ploto. Jeigu pylimų aukštis 1,0 m, sėsdintuvo naudingas plotas sumažėja  $K_N = 0,898$ , jeigu pylimų aukštis 1,5 m – 0,856, jei 2,0 m – 0,795. Todėl įrengiant sėsdintuvus su aukštesniais pylimais, būtina įvertinti naudingo ploto sumažėjimą.

Liejama sluoksniais: į pirmą sėsdintuvą pripilama 0,3 m storio dumblo sluoksnis, tada pilama į antrą sėsdintuvą tokio pat storio sluoksnis dumblo, po to į trečią, ketvirtą ir t.t. iki pavyzdžiui dešimto

sėsdintuvo. Tuo tarpu supiltas pirmuose sėsdintuvuose dumblas džiūsta. Jeigu laikas iki dumblo pylimo dešimtame sėsdintuve siekia ne mažiau kaip 20 parų, pirmuose sėsdintuvuose dumblas išdžiūsta, suskeldėja, susitraukia, sluoksnio storis sumažėja apie 3 kartus. Tada ant pirmo sluoksnio pirmame sėsdintuve pilamas toks pats antras sluoksnis. Išdžiūvęs pirmo sluoksnio dumblas neimlus vandeniui, jo drėgnis beveik nepadidėja. Užpylus vėl iš eilės antrą sluoksnį dumblo, kol pilama kituose, pirmuose sėsdintuvuose dumblas vėl džiūsta (antras sluoksnis išdžiūsta mažiau), po to trečias ar net ketvirtas sluoksnis, kol suformuojamas apie 1,0 m storio dumblo sluoksnis. Tokiu būdu pripildant sėsdintuvą dumblu, jo drėgnis visame sluoksnyje būna žymiai sumažėjęs, beveik vienodas visame sluoksnyje. Svarbiausia tai, kad, pilant sluoksniais, į sėsdintuvus galima sutalpinti du – tris kartus daugiau dumblo, nei iš karto užpilant visą sėsdintuvo gylį.

**Supiltas į sėsdintuvus dumblas paliekamas peršaldymui žiemą.** Prieš žiemą dumblas dar džiūsta, sluoksnio storis sumažėja iki 0,8 – 0,7 m. Paviršinis sluoksnis sutrūkinėja į atskirus gabalus. Žiemą peršalimo gylis siekia apie 0,3 m. Iš esmės įšala atskiri dumblo gabalai. Todėl siekiant peršaldyti ir gilesnius dumblo sluoksnius, tikslinga viršutinį įšalusį dumblo sluoksnį (atskirus gabalus) pašalinti už sėsdintuvo ribų, atidengiant neperšalusį dumblo sluoksnį, kuris iki pavasario peršala. Tokiu būdu pasiekiamas viso dumblo sluoksnio peršaldymas.

Pavasariį atitirpus peršalusiam dumblui, atskiri gabalai suyra, greitai nusausėja, dumblas pasidaro purus. Tokį purų dumblą tikslinga rankiniu būdu supilti į maišus ir patiekti prekybos tinklui pardavimui. Stumdant dumblą mechaninėmis priemonėmis (buldozeriais, pakrovėjais), su dumblu visada pakabinamas ir pagrindo mineralinis gruntas, dumblas praranda savo kokybę ir prekinę išvaizdą. Sustumdžius sėsdintuvuose dumblą buldozeriu į krūvas, toks dumblas tinka tik ekskavatoriumi pakrauti į autotransportą ir išvežti ant aplinkinių laukų.

Supiltas į sėsdintuvus dumblas išdžiūsta (kuo plonesnis dumblo sluoksnio storis, tuo greičiau džiūsta). Išdžiūvęs ir peršaldytas dumblas sustumdomas į krūvas, o sėsdintuvai panaikinami (40 pav.). Toks dumblo sandėliavimo būdas reikalauja, kad netoli vandens telkinio būtų laisvas, neapaugęs mišku reikiamo dydžio plotas. Kai dumblo išsiurbiamą nedaug, ir jame nėra sunkiųjų metalų bei kitų teršalų, plonu (iki 0,2 m storio) dumblo sluoksniu galima patręšti greta vandens telkinio augantį mišką (40 pav. D).

**Norint nustatyti išsiurbto dumblo kiekį,** vėl nustatomas vandens lygis, matuojamas vandens gylis iškastoje vietoje pagal anksčiau matuotas linijas kas 2 – 3 m. Perskaičius išmatuotą vandens gylį pagal pirminį vandens lygį, iš nustatyto dabar vandens gylio atėmus pradinį vandens gylį, sužinomas iškasto dumblo sluoksnio storis. Paskaičius vidutinį iškasto dumblo sluoksnio storį ir padauginus iš valyto ploto ( $m^2$ ), sužinome iškasto dumblo kiekį.

Iškasto dumblo kiekis gali būti matuojamas ir sėsdintuve. Tačiau išmatavus dumblo sluoksnio storį, būtina nustatyti dumblo drėgnį ir perskaičiuoti jo kiekį pagal pradinį (ežere esančio dumblo) drėgnį.



A



B



C



D

**40 pav. Sapropelio sandėliavimas ir džiovinimas:** A - Sėsdintuvuose džiovinamas sapropelis; B - Ant lauko išpilto dumblo džiovimą tikrina prof. L.Katkevičius ir doc. A.Ciūnys; C - Peršaldytas ir išdžiūvęs dumblas sustumdomas į krūvas, o pylimai panaikinami. D – Plonu neužteršto dumblo sluoksniu galima patręšti mišką (nuotr. „D“ iš [www.aquamec.fi](http://www.aquamec.fi))

**Dumblo (sapropelio) savybės ir panaudojimas.** Tvenkiniuose, kūdrose, kartais upėse susiformuoja dumblas, o ežeruose – sapropelis. Dumblas ir sapropelis labai skiriasi savo struktūra ir savybėmis. Sapropelis – tai biologinių procesų medžiaga, susiformavusi per tūkstantmečius ežero dugne deguonies stygiaus sąlygomis iš vandens gyvūnijos ir augalijos liekanų, taip atnešamų su vandens prietaka ir vėju dalelių. Šios dalelių nuosėdos tūkstantmečiais perklostomos mikroorganizmų, praturtinamos jų liekanomis, iš esmės iš jų liekanų susiformuoja koloidinės struktūros organogeninė medžiaga, savo struktūrinėse gardelėse suėmusi didelį kiekį vandens. Vanduo iš sapropelio pasišalina tik džiovdamas (daugiausia, apie 87 %). Jame yra daugiau kaip 50 % organinių medžiagų. Išoriškai sapropelis yra grietinės arba drebučių pavidalo medžiaga, kurios tankis natūralioje būklėje mažai skiriasi nuo vandens tankio ( $1,04 - 1,08 \text{ t/m}^3$ ).

Dumblas irgi gali būti organinis, bet jo susidarymo laikas palyginus labai trumpas – 30 – 80, daugiausia (Širvenos tvenkinys, Biržai) – apie 250 metų. Dumblas greičiau nusausėja, nes beveik neturi koloidinės struktūros. Dumblas dažniausiai būna mineralinis arba mineralizuotas (organinių medžiagų kiekis 15 – 40 %). Jo tankis didesnis nei sapropelio (1,2 – 1,3 t/ m<sup>3</sup>).

Natūralioje būklėje sapropelis yra labai drėgnas (92 – 96 %, kalkinis 88 – 90 %). Paviršiniuose sluoksniuose jo drėgnis didesnis, gilesniuose mažesnis. Sapropelis pasižymi koloidine struktūra. Iškastas iš ežero sapropelis savo struktūrą atstato. Sapropelis lėtai sausėja, o išdžiūvęs susitraukia, suskeldėja, virsta mechaniškai labai atspariais gabalais. Džiūdamas sapropelis nuo 90 iki 80 % susitraukia 2 kartus, nuo 80 iki 60 % - dar 2 kartus. Džiūdamas nuo 92 iki 50 % drėgnio sapropelis susitraukia apie 6 kartus.

Sapropelio tūrio sumažėjimo koeficientas  $\alpha$  paskaičiuojamas pagal formulę:

$$\alpha = 0,88 - 0,00013(W - 40)^{2,19},$$

čia  $\alpha$  – sapropelio susitraukimas vieneto dalimis, mažėjant drėgnei nuo 90 % iki faktiško drėgnio  $W$ .

Išdžiūvęs sapropelis (kai drėgnis mažesnis kaip 50 %) yra neimlus vandeniui ir biologiškai neaktyvus (įdėtas į vandenį nesudrėksta net jei laikytum kelis metus). Sapropelio tankis siekia 1,24 – 1,33 t/m<sup>3</sup>. Tik peršaldžius sapropelio gabalai suyra. Peršaldytas sapropelis pasidaro purus, strukturingas, imlus ir laidus vandeniui (filtracijos koeficientas padidėja nuo 0,0001 – 0,0035 m/parą iki 0,2 – 10 m/parą). Peršaldyto sapropelio tankis sudaro 0,4 – 0,7 t/m<sup>3</sup> (organinio mažesnis, kalkinio didesnis).

Tvenkinių dumblas džiūdamas irgi sumažina tūrį, bet žymiai mažiau – 1,5 – 3,0 kartus priklausomai nuo organinių medžiagų kiekio (mineralizuoto mažiau, organinio daugiau kartų). Peršaldytas dumblas irgi pasidaro purus, pagerina savo fizikines savybes.

Sapropelis gali būti panaudojamas dirvų pagerinimui ir tręšimui. Nustatyta, kad sapropelio efektyvumas prilygsta mėšlui (LŽI Vokės filialo 16 metų bandymų duomenys). Sapropelis lėtai mineralizuojasi (dūlėjimo laikas apie 30 metų), todėl gali būti panaudotas esminiam dirvų gerinimui didelėmis 500 – 800 t/ha dozėmis. Ežerų dumblas daugeliu atvejų yra pati geriausia trąša ekologiškai žemdirbystei. Žemės ūkio ministerijai remiant sapropelio naudojimą, daugelis mažų (3 – 10 ha) ežerų būtų nesunkiai išvalyti. Nustatyta, kad pietrytinėje šalies dalyje kas 6 – 8 km yra uždumblėjęs ežeras, o tokiu atstumu apsimoka vežti sapropelio trąšą. Iš jo gali būti gaminamos patrauklios trąšos kambarinėms gėlėms, daigams (pomidorų, agurkų, paprikų). Labai vertingi sapropelio kompostai su vištų, galvijų mėšlu, nes nėra kvapo (sapropelis absorbuoja), didelis efektyvumas.

Sapropelis plačiai gali būti naudojamas kaip mitybinė terpė įvairių biopreparatų gamyboje (puvimo bakterijas naikinančių – pomidorų, agurkų, burokėlių, bulvių, svogūnų apsaugojimui nuo gedimo; trichodermino – apsaugo augalų šaknis puvinio grybelio; nitragino

– bakterinis preparatas ant augalų šaknų iš oro azotą fiksuojantis ir daug kitų). Sapropeilis vertingas pašarų priedas kiaulėms, paukščiams, gyvuliams.

Statybinių medžiagų pramonėje sapropelio priedai į molio dirbinius panaikina degimo metu jų deformacijas, pagreitina išdegimą. Pigūs ir vertingi su sapropeliu pagaminti keramzitas, termoizoliacinės plokštės, palengvintas betonas ir kt.

Peršaldytas sapropelis pasižymi labai geromis absorbcinėmis savybėmis, todėl galėtų būti panaudotas biologiniam nuotekų valymui, ypač kai nuotekos užterštos sunkiaisiais metalais (šis metodas išbandytas Chemijos institute).

Upių, tvenkinių dumblas dažniausiai panaudojamas dirvų pagerinimui, karjerų, sąvartynų rekultivavimui, miško tręšimui, o taip pat kompostų gamybai.

### **3.4. IŠ SĖSDINTUVŲ Į TELKINĮ GRAŽINAMO VANDENS NUSKAIDRINIMAS**

Supilta į sėsdintuvus pulpa nusistovi, dumblo dalelės nusėda, o vanduo nuskaidrėja. Vandens nuskaidrėjimas sėsdintuvuose prasideda tada, kai į sėsdintuvą nepilama pulpa, paprastai nutraukus pulpos liejimą, vanduo nuskaidrėja per 8 – 15 val. Todėl dažniausiai valymo darbai planuojami taip, kad per naktį nuskaidrėjęs vanduo ryte yra išleidžiamas iš sėsdintuvo, o vandeniui išbėgus, į sėsdintuvą leidžiama nauja pulpa.

Vandenį iš sėsdintuvų reikia išleisti į sedimentacinį tvenkinėlį, kuriame vanduo galutinai nusistovi, jame sumažėja skendinčių dalelių. Vandens nuskaidrėjimo greitis labai priklauso nuo piltos pulpos konsistencijos (tirštumo), dumblo tipo ir kokybės (kalkinio dumblo dalelės greičiausiai nusėda ir skystos konsistencijos pulpos vanduo greičiausiai nuskaidrėja). Optimalu, kai sedimentaciniame tvenkinėlyje (tvenkinėliuose) vanduo išbūna 24-72 val.

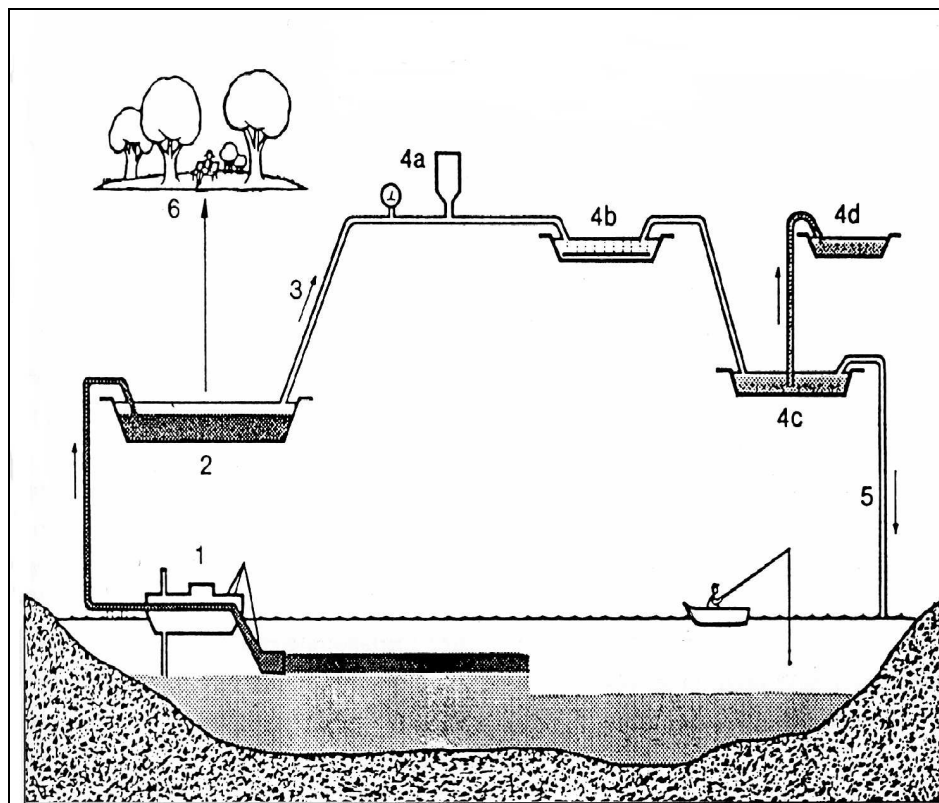
Nors specialių reikalavimų iš sėsdintuvų į valomą vandens telkinį gražinamo vandens kokybei nėra, siūlome vadovautis dviem principais:

1. jei valomas geros vandens kokybės vandens telkinys ir sugrįžtantis iš sėsdintuvų vanduo gali turėti neigiamos įtakos telkinio-priimtovo vandens kokybei, reiktų laikytis „Nuotekų tvarkymo reglamente“ Nr. D1 – 236, 2006 05 17 aprašytų reikalavimų (nuskaidrėjusiame vandenyje skendinčių medžiagų koncentracija neturi viršuti maksimalių reikšmių -12 mg/l).

2. Valant uždumblėjusius ežerus, kurių vandens kokybė iki valymo ir valymo metu yra bloga, ir iš sėsdintuvų atitekantis vanduo su didesnėmis nei 12 mg/l skendinčių medžiagų koncentracijomis jo kokybės nepablogina, minėtų normų laikytis nėra tikslo.

Jei netoli valomo vandens telkinio nėra galimybės įrengti atitinkamo dydžio ir tūrio sedimentacinio tvenkinėlio, o iš sėsdintuvų atitekantis nuskaidrėjęs vanduo netenkina aplinkosauginių reikalavimų, į vandens tėkmę tarp sėsdintuvo ir sedimentacinio tvenkinėlio

įmaišoma flokulianto (pvz., aliuminio (III) sulfato ar aliuminio (III) chlorido), kuris suriša skendinčias daleles ir vandenyje ištirpusius neorganinius fosforo junginius į dribsnių („flokų“) pavidalo koloidą, kurio nusėdimo laikas daug trumpesnis, nei smulkių vandenyje skendinčių dumblo dalelių (41 pav.).



**41 pav. Iš sėdintuvų į vandens telkinį sugražinamo vandens nuskaidrinimas naudojant flokuliantus:** 1 – žemsiurbė; 2 – sėdintuvas; 3 – gražinamas dalinai nuskaidrėjęs vanduo; 4a – flokulianto dozatorius; 4b – aeruojamas tvenkinėlis; 4c – tvenkinėlis likutinio dumblo ir flokulianto sedimentacijai; 4d – dumblo ir flokulianto saugykla; 5 – išvalyto vandens gražinimas į telkinį; 6 – dumblo panaudojimas žemės ūkyje ar želdinių priežiūrai.

Švedijoje, siekiant šį būdą maksimaliai efektyviai panaudoti ne tik skendinčių medžiagų, bet ir fosforo junginių surišimui, į minėtą sistemą įjungiamas aeracinis tvenkinėlis, kuriame vanduo ne tik idealiai persimaišo su flokuliantu, bet ir yra praturtinamas deguonimi. Naudojant flokuliantus ir aeraciją, gerą grįžtančio į telkinį nuskaidrėjusio vandens kokybę galima užtikrinti su minimaliais sedimentaciniais tvenkinėliais, tačiau šiuo atveju stipriai išauga vandens telkinio valymo sąnaudos, todėl bent jau šiuo metu, kai norime paskatinti Lietuvos vandens telkinių valymą ir tvarkymą, tokio į telkinį gražinamo vandens valymo reiktų reikalauti tik išimtiniais atvejais (pvz., valant draustiniuose ar Natura 2000 teritorijose esančius telkinius, arba telkinius, kuriuose auga ar gyvena į LRK įrašytos rūšys).

### 3.5. UPIŲ VAGŲ VALYMAS

Tiek Europoje, tiek Lietuvoje makrofitais užžėlusių upių ir upelių vagų bei griovių valymui naudojami specialūs įrenginiai – groteliniai kaušai su šienavimo briauna (42 pav.). Ši įranga gali būti montuojama ne tik ant ratinio, bet ir ant vikšrinio traktoriaus.

Šienavimo briauna lengvai nupjauna makrofitus ir krūmus, kurie grotelinio kaušu iškeliami iš vagos ir pakraunami į savivartę arba paliekami apdžiūti ant kranto greta vagos ir išvežami vėlaiu.



**42 pav. Įranga upių, upelių ir griovių priežiūrai – groteliniai kaušai su šienapjove**

Kai yra pakankamai vandens, upių vagos gali būti valomos kai kuriomis iš 3.1. skyriuje aprašytų žemsiurbių, siurbiant dumblą ir pulpą vamzdžiais transportuojant į toliau nuo upės vagos įrengtus sėsdintuvus, arba naudojant keičiamą įrangą – kaušus, sukraunant gun tą ant kranto, o po to ekskavatoriumi pakraunant į transporto priemones ir išvežant į sandėliavimo vietą (43 pav.).



**43 pav. Upelis prie Paežerių km. valomas žemsiurbe Watermaster Classic III.**



#### 4. VANDENS KOKYBĖS PAGERINIMO BEI IŠLAIKYMO METODŲ APŽVALGA

Nors ežerų, upių bei tvenkinių mechaninis valymas Lietuvoje jau turi keturiasdešimties metų tradicijas (dalinis sapropelio pašalinimas vykdytas Druskonio, Mergelių akių, Valdakio, Lėno, Skersabalio ir kt. ežeruose, visi iki šiol vykdyti ežerų valymo projektai apsiribodavo tik mechaniniu dumblo (saproelio) išsiurbimu / iškasimu bei pakrančių sutvarkymu. Lietuvoje iki šiol nevykdytas nė vienas kompleksinis vandens telkinio ir jo prietakos baseino restauracijos ir / arba žemėnaudos optimizavimo bei ekologinės būklės bei vandens kokybės pagerinimo projektas.

Todėl, turint omenyje prieš kelis dešimtmečius vykdyto vandens telkinių mechaninio išvalymo naudą bei įvertinus Pasaulyje bei Lietuvoje naudojamus modernius limnoekosistemų restauracijos metodus, suformuluota ekologiniu požiūriu pagrįsta Lietuvos ežerų bei tvenkinių ekosistemų restauracijos ir racionalaus valdymo koncepcija.

Ši koncepcija remiasi gausios užsienio mokslininkų limnoekosistemų valdymo (priežiūros) ir restauracijos teorinės (Wetzel, 1983; 2001; Bronmark, Hansson, 1998; Haycock, Burnt, Goulding et al., 1996; Limnoecology..., 1997) ir praktinės (Restoration..., 1992; Eiseltova, 1994; Eiseltova, Biggs, 1995) patirties, Lietuvos ežerų ekosistemų esamos būklės bei 1970-2003 metais Lietuvoje vykdytų ežerų valymų ekologinių klaidų analize (Balevičius, 2004).

Kadangi ežerai ar tvenkiniai yra labai kompleksiškos, integruotos į landšaftą multifunkcinės gamtinės sistemos, prieš pateikiant rekomendacijas konkretaus vandens telkinio priežiūrai ar restauravimui, būtina detaliai ištirti ežero ekosistemos būklę (atlikti hidrocheminių ir hidrobiologinių ekosistemos komponentų tyrimus, išanalizuoti istorinių šaltinių ir/ar ankstesnių tyrimų duomenis). Tik tada galima rekomenduoti vieną ar kitą ekosistemos restauravimo, stabilizavimo, subalansavimo ir racionalaus eksploatavimo priemonių kompleksą.

Visi vandens telkiniai funkcionuoja kaip prietakos baseino vandenų surinktuvas. Taigi, "pirmoji pagalba" kiekvienam stovinčio ar tekančio vandens telkiniui - užkirsti kelią išoriniam (prietakiniam) teršimui / tręšimui (eutrofikacijai):

- prietakos baseine esančių miestų, kaimų, pramonės bei žemės ūkio objektų nuotekų išvalymas;
- racionalus ar ekologinis ūkininkavimas prietakos baseine (Pažangaus ūkininkavimo taisyklės ir patarimai, 2000); prietakos baseino žemėnaudos optimizavimas, kova su dirvos erozija;
- optimalaus dydžio buferinių juostų aplink ežerus įrengimas ir tinkamas jų eksploatavimas;
- biofiltrų ir / ar dirbtinių šlapžemių, tvenkinėlių-sėsdintuvų įrengimas pažeidžiamiausiose ežero pakrantės vietose, kur yra didelė nešmenų prietaka.

Stabilizavus alochtoninės medžiagos prietaką, ir atlikus abiotinių ir biotinių ežero ekosistemos komponentų struktūrinius - funkcinius tyrimus, įvertinama kokiomis priemonėmis galima išspręsti duotojo ežero problemas, pasirenkama ežero ekosistemos restauravimo strategija

bei metodologija.

Ežerų, kurių, duburiai užpildyti storu biogeninėmis medžiagomis turtingų nuosėdų (dumblo) sluoksniu, o vidutinis gylis mažesnis kaip 3,0 m, vienas populiariausių restauracijos būdų yra visiškas arba dalinis susikaupusio dumblo (sapropelio) pašalinimas (iškasimas ir/arba išsiurbimas). Šis metodas įgalina atkurti buvusį ežero gylį, iš ekosistemos pašalinamas didelis kiekis organinių, biogeninių, (kartais – sunkiųjų metalų bei toksinių) medžiagų, beveik pilnai išsprendžiama užžėlimo makrofitais ir pakrančių užpelkėjimo problema.

Kaip minėta, visi iki šiol Lietuvoje vykdyti ežerų restauracijos projektai apsiribodavo tik daliniu sapropelio išsiurbimu bei pakrančių sutvarkymu. Išdžiovintas ežero dumblas (sapropelis), jei jame nebūdavo toksinių medžiagų ar sunkiųjų metalų, naudotas kaip trąša, pašarų priedas, medicinoje ir kt.

Tačiau dumblo pašalinimas savaime neišsprendžia nei hidrocheminių, nei hidrobiologinių ekosistemos problemų, o kai kuriais atvejais jas netgi dar labiau užaštrina (šalinant sedimentus, kaitaliojasi ežero vandens lygis; vandens masėje išmaišomas didelis kiekis organinių ir biogeninių medžiagų; sudrumstus vandenį, sumažėja vandens skaidrumas; ežere sunaikinamos daugelio hidrobiontų rūšių ekonišos; suardoma šimtmečiais nusistovėjusi dinaminė pusiausvyra tarp trofinių grandžių; išsiurbto dumblo džiovinimo laukai keletui metų sudarko apylinkių kraštovaizdį). Todėl, baigus dumblo šalinimo darbus, būtina stabilizuoti ežero ekosistemos hidrochemines charakteristikas, atkurti (sukurti) optimalią augalijos bei gyvūnijos struktūrą, subalansuoti hidrobiontų trofinius ryšius, kurie užtikrintų tolesnį stabilų visos ežero ekosistemos funkcionavimą (Balevičius, Ciūnys, 2006).

Todėl, be technologinio paties vandens telkinio išvalymo ir jo prietakos baseino žemėnaudos optimizavimo, būtina dar viena vandens telkinio restauracijos stadija – kartu su hidroekosistemos monitoringu vykdomas limnoekosistemos hidrocheminių ir hidrobiologinių komponentų struktūrinis - funkcinis subalansavimas. Bendru atveju, šis subalansavimas apima hidrocheminių vandens parametrų stabilizavimą ir sureguliovimą, reikiamų rūšių makrofitų bendrijų sukūrimą / atkūrimą, planktonėdžių žuvų bendrijos pakeitimą plėšriųjų žuvų bendrija (biomanipuliacija), ir kt.). Siekiant ilgalaikio restauracijos rezultato, būtina atstatyti bei subalansuoti ne tik paties vandens telkinio, bet ir jį supančių ekosistemų gyvybingumą bei integralumą, kuris užtikrintų minimalią biogeninių medžiagų prietaką į hidroekosistemą. Teisingai subalansuota ir savaime funkcionuojanti vandens telkinio ekosistema užtikrina restauracijos rezultatų ilgaamžiškumą bei palaiko gerą vandens kokybę. Tuo tarpu be hidroekosistemos komponentų subalansavimo, geros vandens kokybės gali tekti laukti dešimtis metų (pvz. Druskonio ež.), arba jau po 10 ar 20 metų susidurti su litoralės užžėlimo bei ežero uždumblėjimo problemomis.

#### 4.1. STOVINČIO VANDENS TELKINIŲ EKOSISTEMŲ HIDROCHEMINIŲ PARAMETRŲ STABILIZAVIMAS IR BIOGENINIŲ MEDŽIAGŲ KIEKIO SUMAŽINIMAS

##### *Fosforo surišimas ir nusodinimas bei dumblo atskyrimas nuo vandens masės*

Du savo esme panašūs metodai: vandens masėje cirkuliuojančių mineralinių fosforo\* junginių ( $-PO_4^{3-}$ ) surišimas iš vandens masės ir nusodinimas į dugną bei dugno nuosėdose esančių fosforo junginių surišimas naudojant polialiuminio chloridą ar geležies (III) chloridą Švedijoje taikomi nuo 6-to XX a. dešimtmečio ir vis evoliucionuoja (44 pav. A).

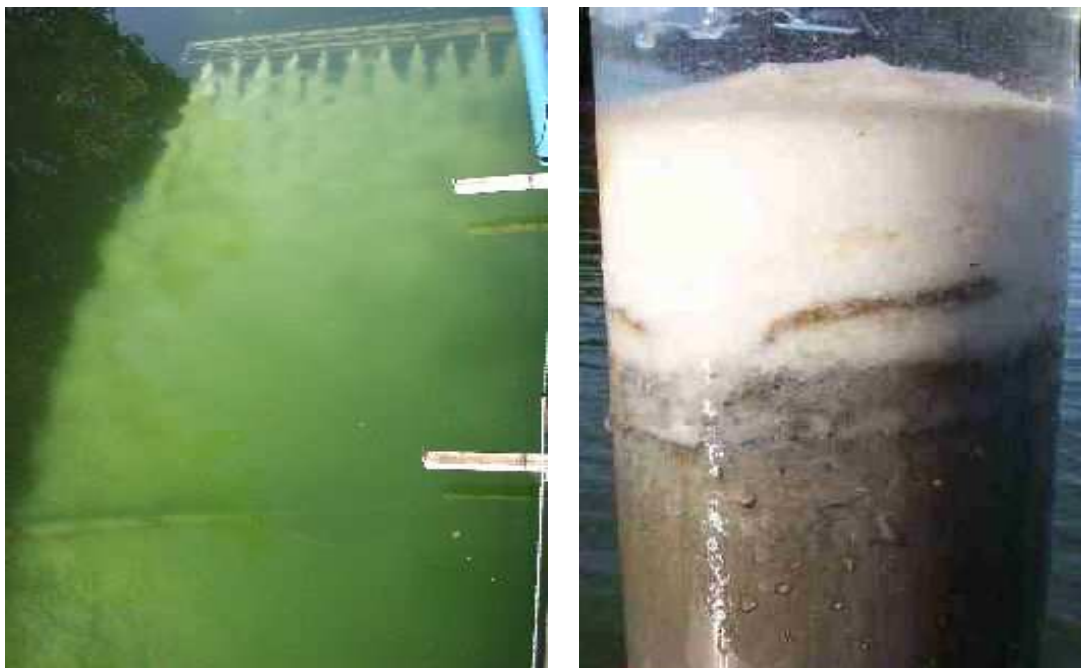
Šių metodų esmė ta, kad fosfatai surišami polialiuminio chloridu, susidarant aliuminio fosfatams – labai tvirtą cheminį ryšį turinčiam junginiui. Daugiau aliuminio fosfato susidaro mineralinį fosforą surišant dugno nuosėdose, kuomet specialus laivas braukia per dugną polialiuminio chlorido ir vandens mišinį iššvirkščiančiais vamzdeliais. Surišant fosfatus iš vandens masės, dažnai susidaro fosfatų kompleksas su aliuminio hidroksidas, kuris fosforą suriša šiek tiek silpnesniais cheminiais ryšiais. Tačiau polialiuminio chloridu surištas fosforas normaliomis sąlygomis nebedalyvauja hidroekosistemos biogeninių medžiagų cirkuliacijos cikluose, nebent drastiški ekosistemos pakitimai sąlygotų pH sumažėjimą žemiau 5,5. Tada fosforas atsipalaiduotų. Visi kiti iki šiol taikyti fosforo surišimo būdai (su geležimi, kalciu ar kitais elementais) yra mažiau stabilūs – jų kompleksai atpalaiduoja fosforą susidarius bedeguoninėms sąlygomis, kas eutrofikuojuose ežeruose nėra retenybė. Nors vykdant telkinio restauraciją šiais metodais nežymiai pažeminama pH (max. 0,3 vieneto), o nuosėdų užklojimas turi laikiną neigiamą efektą dugno bestuburiams, teigiami fosforo surišimo aspektai pranoksta šią žalą, nes iš vandens masėje sumažėja fitoplanktono, dėl ko padidėja vandens skaidrumas, tai sudaro sąlygas giliau augti makrofitams, ilgainiui net be biomanipuliacijos sumažėja planktonėdžių ir padaugėja plėšriųjų žuvų, ežeras iš drumstos planktoninės būklės pereina į makrofitinę būklę, kuriai būdingas skaidrus geresnės kokybės vanduo.

Šis metodas ypač pasiteisina ežeruose, kurie nebegauna didelės biogeninių medžiagų prietakos (sutvarkyta vandenvala, ir baseino žemėnauda) tačiau dugno nuosėdose esantis fosforas atsipalaiduoja ir palaiko ekosistemą eutrofinėje būklėje (*internal loading*). Polialiuminio chlorido negalima naudoti rūgščiuose ežeruose  $pH < 5$ , nes rūgštinėje terpėje iš jo atsipalaiduoja aliuminis, kuris yra toksiškas žuvims.

Panašus, tačiau daugiau polialiuminio chlorido reikalaujantis metodas yra fosforu turtingų ir/arba sunkiaisiais metalais užterštų dugno nuosėdų užklojimas ir atskyrimas nuo vandens masės, ant dugno suformuojant 2-6 cm storio polialiuminio chlorido “dribsnių” sluoksnį (*angl. "bottom cap"*) (44 pav. B).

---

\* Daugumoje ežerų fosforas yra ekosistemos autotrofų (ypač fitoplanktono) produktyvumą limituojantis elementas, todėl jo koncentracijai skiriama labai daug dėmesio.



A

B

**44 pav. Švedų kompanijos “Vattenresurs AB” vykdoma ežero restauracija polialiuminio chlorido metodu (A); ant dugno nusėdusių polialiuminio chlorido dribsnių suformuotas barjeras(B) (nuotr. iš [www.vattenresurs.se](http://www.vattenresurs.se); ten pat angliškai arba rusiškai galima plačiau paskaityti apie šį metodą)**

Šis nepavojingas ir chemiškai neutralus sluoksniu (polialiuminio chloridas kaip flokuliantas naudojamas ir geriamojo vandens paruošimui) neleidžia iš sedimentų išplauti fosforo ir/ar sunkiųjų metalų, tačiau jame, kaip ir natūraliame dumble, gali gyventi dugno gyvūnija, augti augalija. (Carlsson, 2003). Vandens kokybės balansavimas polialiuminio chlorido metodu, kartu su kitomis vandenyje suspenduotomis dalelėmis, į dugną nusodina dalį fitoplanktono dumblių, o naujai besivystantis fitoplanktonas stokoja į kompleksą au aliuminiu surištų ir nusodintų fosfatų, todėl turi ribotas augimo galimybes. Taip pat vykdant dugno užpylimą polialiuminio chloridu fiziškai sunaikinama dalis dugno bestuburių populiacijos, tačiau po pirminio šoko išlikusi dugno fauna sėkmingai kolonizuoja polialiuminio chlorido dribsnių paviršius ir jame gyvena kaip tikrame dumble. Be to, po kelių metų pasikeičia fitoplanktono, zoobentosos, žuvų bendrijų sudėtis (palaiptiesiems mažėja eutrofinėms ekosistemoms būdingų monodominantių bendrijų su didele vienos ar kelių vyraujančių rūšių biomase, tačiau atsiranda didesnė rūšinė bendrijų įvairovė, fitoplanktone vyraujančią cianobakterijų bendriją pakeičia titnagdumbliai bei auksadumbliai; dėl padidėjusio skaidrumo, povandeninė makrofitinė augalija pradeda augti giliau, užima didesnius dugno plotus, vandens masę praturtindama fotosintezės metu išsiskiriančiu deguonimi bei sudarydama daugiau ekonišų žuvims bei jų nerštavietėms, o taip pat ir fitobentosui.

Taigi, svarstant apie ežero biogeninių medžiagų surišimą ir nusodinimą į nuosėdas bei toksinėmis medžiagomis užteršto dumblo atskyrimą nuo vandens masės, reikia vertinti kas geriau konkrečiai ežero ekosistemai: dideli fosforo kiekiai, didelė fitoplanktono dumblių biomasa, vandens ”žydėjimai”, deguonies nepritekliai vasarą bei anoksija ir žuvų dusimas žiemą ar momentinis

ekosistemos šokas, dalies individų fizinis sunaikinimas ir greitas (1-2 metus trunkantis) ežero perėjimas iš eutrofinės į mezotrofinei artimą būklę. Šis būdas tiek Skandinavijoje, tiek ir JAV pripažintas kaip gerokai pigesnė ir efektyvesnė ežero trofinės būklės regulavimo priemonė, nei biogeninėmis medžiagomis turtingo dumblo šalinimas, tad, jei tik užtenka gylio, Skandinavijoje stipriai eutrofiniai planktoninio tipo ežerai apdorojami polialiuminio chloridu.

### **Gipso bei molio metodai**

Fosforo surišimui bei metanogenezės intensyvumo sumažinimui hipertrofinių ežerų dugno nuosėdose bandyta taikyti gipso technologiją (biogeninėmis medžiagomis, ypač fosforu, turtingų dugno nuosėdų padengimą gipso junginiais, pvz., fergipsu). Tai dar gana naujas, tačiau pagal pirmųjų tyrimų duomenis, efektyvus būdas sumažinti fosforo atsipalaidavimą iš dugno nuosėdų eutrofiniuose ežeruose (Salonen, Varjo, 2000);

Suomijoje bandyta šio metodo modifikacija vietoje polialiuminio chlorido naudojant vandenyje ištirpintą molį, kuriame taip pat gausu aliuminio. Nustatyta, kad molio "ekranas" sulaiko apie 75-80% iš dugno nuosėdų atsipalaiduojančio fosforo bei neleidžia iš dugno kylantiems mažiems metano burbuliukams drumsti viršutinio sedimentų sluoksnio (5-10 cm molio sluoksnį praeina tik dideli metano burbulai) (Tiilikainen, 2006). Tačiau molis po dugno nuosėdų apdorojimo dar ilgokai drumsčia ežero vandenį (nudažydamas jį balkšvai); vėliau net ir nusėdusį molį visai nesunku vėl pakelti į vandens masę.

### **Aeracija**

Vandens masės ir sedimentų (hipolimnetinė) aeracijos nauda ežero ekosistemai yra ta, kad cirkuliuojančiame, deguonimi praturtintame vandenyje greičiau vyksta organinių medžiagų skaidymas, nesusidaro hipoksinių sąlygų, mažiau tikėtinas "vandens žydėjimas". Deguoninė priedugnio sluoksnio (hipolimniono) aplinka neleidžia iš sedimentų atsipalaiduoti biogeninėms medžiagoms (ypač į kompleksą su geležimi (III) surištam fosforui). Mažėjant biogeninių medžiagų koncentracijoms vandenyje, mažėja fitoplanktono kiekis, didėja vandens skaidrumas, gerėja vandens kokybė.

### **Priedugnio vandens pakeitimas ir vandens masės išmaišymas**

Stratifikuotuose ežeruose bedeguonių sluoksnių susidarymo bei fosforo atsipalaidavimo iš sedimentų bandyta išvengti išsiurbiant bedeguonį bei biogeninėmis medžiagomis turtingą priedugnio vandenį į jo vietą siurbliais arba natūralios gravitacijos būdu pripildant paviršinio vandens. Metodus pasiteisino keliuose Suomijos ežeruose, tačiau jo panaudojimą dar reiktų tyrinėti, nes į paviršiniį sluoksnį (epilimnioną) ar kitą vandens telkinį suleistas iš priedugnės išsiurbtas biogeninėmis medžiagomis turtingas vanduo gali laikinai sutrikdyti ekosistemos pusiausvyrą ir vasarą sukelti vandens "žydėjimą". Apie šio metodo panaudojimą Lietuvoje reiktų spręsti įvertinant kiekvieno konkretaus ežero būklę bei galimą ekosistemos reakciją į tokį vandens masės permaišymą. Eksperimentiniu būdu jį būtų galima taikyti žiemą kartu su poledine vandens masės aeracija.